НИТИ
РОСАТОМ

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ 2022

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

НИТИ
РОСАТОМ

Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова

ГОДОВОЙ ОТЧЕТ

2022

УДК-621.039.577.056
ББК-31.46

Редакционная комиссия:

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

Компьютерная вёрстка:

Е.В. Куликова, П.С. Суворов

Фото:

Д.С. Веденин

Ответственный за выпуск отчёта:

Ю.В. Крюков

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

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

© ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ОБРАЩЕНИЕ И.О. ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА 6

К 60-летию ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» 10

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ. 17

2. ДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, СОЗДАНИЕ ТРЕНАЖЁРОВ. 21

2.1 Развитие функционального программного обеспечения системы ТЕРМИТ в части расширения возможностей моделирования динамики ЯЭУ и решения задач импортозамещения и информационной безопасности 22

2.2 Проектные решения по системе управления ЯЭУ реконструируемого стенда КМ-1 29

2.3 Модернизация полномасштабного и аналитического тренажеров с целью приведения в соответствие энергоблоку прототипу ПЭБ проекта 20870 плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» 35

2.4 Автоматизированная система учёта метрологического оборудования «Метроном» 39

2.5 Разработка и применение мобильного управляющего комплекса «АЛИССУМ»» 44

3. НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 51

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 52

3.1 Модернизация программ подготовки ядерно-физических данных для программы САПФИР_РФ 53

3.2 Многофункциональный измеритель линейный импульсно-токовый мобильный (переносной) «ЛИМИТ» 55

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 60

3.3 Основные результаты научно-технических разработок 60

3.4 Задачи экспериментальной отработки технических решений по оборудованию РУ на электрообогреваемом стенде 63

4. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 68

4.1 Химические технологии для оборудования ЯЭУ 69

4.2 Работы для объектов использования атомной энергетики 71

4.3 Дезактивация оборудования ЯЭУ с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем 76

4.4 Ложноположительные сигналы при обнаружении взрывчатых веществ методом спектрометрии ионной подвижности: органические кислоты 87

4.5 Итоги радиоэкологического мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». 98

5. ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯЖЁЛЫХ АВАРИЙ 113

5.1 Проведение экспериментальных работ по исследованию взаимодействия материалов активной зоны реакторных установок со свинцовым и натриевым теплоносителями при тяжелых авариях. . . . 115

5.2 Экспериментальные исследования взаимодействия тяжёлого жидкометаллического теплоносителя с теплоносителем второго контура в аварийных режимах 117

5.3 Исследование высокотемпературного взаимодействия перспективных MAX-фаз с химически прототипным расплавом активной зоны ядерного реактора на комплексе экспериментальных установок «Расплав» 120

5.4 Проведение высокотемпературного термического анализа образцов оксидных материалов в системах Cs_2O-Al_2O_3 и SrO-Al_2O_3 126

5.5 Экспериментальные исследования взаимодействия материалов активной зоны АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ-М при тяжелых авариях 128

5.6 Сцинтилляционные материалы на основе оксидных эвтектик 130

6. РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 132

6.1 Анализ задач операторов АЭС «Ханхикиви-1» 134

6.2 Учёт человеческого фактора при проектировании конструкций, систем и компонентов АЭС «Ханхикиви-1» 141

7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ 147

7.1 Разработка материалов технического проекта для создания и обоснования безопасности атомной станции малой мощности на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М 149

7.2 Аналитический отчет по разработке методов и устройств контроля состояния активной зоны РУ ШЕЛЬФ-М 151

8. ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ 152

9. СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА 157

10. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ 164

10.1 Работа по международным соглашениям и контрактам 165

10.2 Научно-технические издания, публикации 168

10.3 Управление интеллектуальной собственностью 179

10.4 Участие специалистов НИТИ в семинарах и конференциях 185

11. ГРАЖДАНСКАЯ ОБОРОНА И ЗАЩИТА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ . . . 192

12. РАБОТА ПО ПОДГОТОВКЕ И РАЗВИТИЮ ПЕРСОНАЛА ПОД СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ИНСТИТУТА 199

Поощрения, награды 209

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 216

ОБРАЩЕНИЕ И.О. ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

И.о. генерального директора
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
Кирпиков Денис Александрович

Уважаемые друзья, коллеги, партнеры!

17 июля 2022 года «Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова», созданный в 1962 году по инициативе и под руководством академика Анатолия Петровича Александрова как государственная испытательная станция транспортных ядерных энергетических установок, отметил 60-летие со дня основания. За 60 лет институт внес большой вклад в развитие и совершенствование транспортной ядерной энергетики, в разработку оборудования и технологий для обеспечения жизненного цикла объектов использования ядерной энергии.

Вашему вниманию предлагается девятнадцатое официальное издание публичного Годового отчёта ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» с основными результатами деятельности института в 2022 году.

В 2022 году коллективом ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнен большой объём работ по реконструкции стендовой базы предприятия, подготовке, обеспечению и проведению испытаний и исследований на экспериментальных стендах института, созданию тренажёрных и обучающих систем, теплофизическим, нейтронно-физическим, химико-технологическим исследованиям и разработкам, по обоснованию и обеспечению безопасности действующих и строящихся объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) как в Российской Федерации, так и за её пределами.

Хотелось бы отметить следующие работы выполненные сотрудниками института в 2022 году.

Проведены модернизация и успешные приемо-сдаточные испытания тренажера ПАТЭС «Академик Ломоносов», выполненные по договору с концерном «Росэнергоатом».

Разработан «Сборник аттестованных методик химических и радиохимических анализов рабочих сред технологических контуров судовых ЯЭУ и хранилищ ОЯТ» для оборудования объектов ФГУП «Атомфлот». Изготовлены и переданы НИЯУ МИФИ модульные установки для водоподготовки и очистки жидких радиоактивных отходов.

Выполнены исследования сорбционных свойств грунтов и водовмещающих пород для расчёта миграции радионуклидов на площадке Смоленской АЭС-2.

Проводились работы по созданию новых и дальнейшему совершенствованию разработанных в НИТИ расчётных кодов для моделирования нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в оборудовании ЯЭУ различного типа и назначения.

Завершены работы по созданию мобильного линейного импульсно-токового измерителя «ЛИМИТ» для нейтронно-физического контроля на ОИАЭ. Измеритель включен в государственный реестр средств измерения.

На установке «КОРВЕТ-2» выполнен цикл экспериментов для оценки влияния раствора борной кислоты и взвесей различного состава на процессы теплоотвода от стенок корпуса устройства локализации расплава для АЭС с ВВЭР.

На интегральном стенде теплогидравлических процессов ИСТП начата серия экспериментов для восполнения недостающей информации, необходимой для эффективного моделирования физических и теплогидравлических процессов в оборудовании ЯЭУ.

Продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжелых аварий на реакторных установках и энергоблоках АЭС. Проводилось исследование процессов в условиях гипотетических запроектных аварий для реакторной установки БРЕСТ-ОД-300. Получены экспериментальные данные, актуальные для создания моделей и верификации расчётных кодов, моделирующих тяжелые аварии для реакторов данного типа.

На комплексе с экспериментальных установок «Расплав» НИТИ проведено исследование высокотемпературного взаимодействия MAX-фаз, перспективных в качестве материала оболочек твэлов, с химически прототипным расплавом активной зоны ядерного реактора. Предложена матрица экспериментальных исследований по взаимодействию материалов перспективной активной зоны АЭС малой мощности на базе РУ ШЕЛЬФ-М при тяжёлых авариях.

Велось производство и серийная поставка обнаружителей взрывчатых веществ «ЧУБ» для контроля на пунктах массового прохода персонала на режимных объектах.

В рамках работ, выполняемых Госкорпорацией «Росатом» по проектированию зарубежных АЭС, в 2022 году специалисты института принимали участие в проектировании пунктов управления энергоблоков Тяньваньской АЭС и АЭС «Сюйдапу» в Китае, энергоблока № 1 АЭС «Эль-Дабаа» в Египте.

В рамках реализации экологической политики уделялось особое внимание радиоэкологической безопасности контролируемой территории с учётом деятельности энергоблоков Ленинградской атомной электростанции и предприятий по переработке радиоактивных отходов, размещенных вблизи радиационно опасных объектов НИТИ.

В 2022 году содержание радионуклидов в объектах природной среды, связанное с деятельностью стендовых установок НИТИ, не изменилось. Индивидуальная доза технологического облучения на население города Сосновый Бор, обусловленная деятельностью НИТИ, была существенно ниже предела, регламентированного действующими нормативными документами.

За добросовестный труд и вклад в развитие отрасли в 2022 году 75 работников института получили награды Госкорпорации «Росатом», 38 сотрудников награждены знаком отличия в труде «Ветеран НИТИ им. А.П. Александрова», 52 сотрудника получили награды губернатора Ленинградской области и администрации города Сосновый Бор.

Экономическое состояние Института в 2022 году оставалось стабильным.

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

И.о. генерального директора
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»
Д.А. Кирпиков

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» – 60 лет на службе Отечеству

17 июля 2022 года исполнилось 60 лет ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» – предприятию атомной отрасли России, созданному для отработки и испытаний транспортных ядерных энергетических установок на наземных полномасштабных стендах-прототипах.

А.П. Александров

Академик А.П. Александров – основоположник атомного флота и основатель НИТИ

По инициативе и при поддержке академика А.П. Александрова 17 июля 1962 года был издан приказ Государственного комитета СССР по использованию атомной энергии «О создании Государственной испытательной станции корабельных ядерных энергетических установок», которая позже была преобразована в научно-исследовательский технологический институт (НИТИ).

В настоящее время НИТИ является единственным в России научно-технологическим центром комплексных испытаний транспортных ЯЭУ, доведения их на полномасштабных стендах до требуемого уровня надежности и безопасности и сопровождения их эксплуатации в течение всего жизненного цикла. Результаты испытаний имеют большое практическое значение как для проектных организаций при разработке проектов новых ЯЭУ, так и при их эксплуатации.

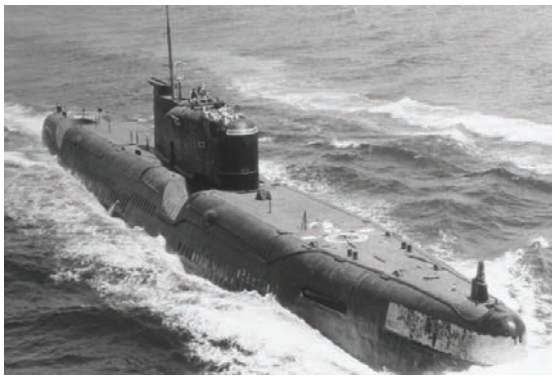
Этап строительства института, 1966 год

Исследования и отработка транспортных ЯЭУ, создание оборудования и технологий жизнеобеспечения для объектов атомной энергетики

В течение 60 лет в НИТИ были успешно проведены испытания и исследования нескольких типов транспортных ЯЭУ на стендах-прототипах ВАУ-6с (1971–1988 гг.), КВ-1 (1975–2019 гг.), КМ-1 (1978–1986 гг.), КВ-2 (1996–2012 гг.).

Стенд-прототип ВАУ-6с

Стенд ВАУ-6с – первый стенд НИТИ. ЯЭУ ВАУ-6с предназначалась для использования в качестве необслуживаемой вспомогательной атомной энергетической установки на дизель-электрических подводных лодках с целью увеличения их автономности. В ходе испытаний подтверждена высокая эксплуатационная надежность, живучесть и безопасность ЯЭУ, что позволило рекомендовать её в качестве автономного источника энергии для использования на флоте.



Советская дизель-электрическая подводная лодка с крылатыми ракетами проекта 651Э с вспомогательной ЯЭУ ВАУ-6

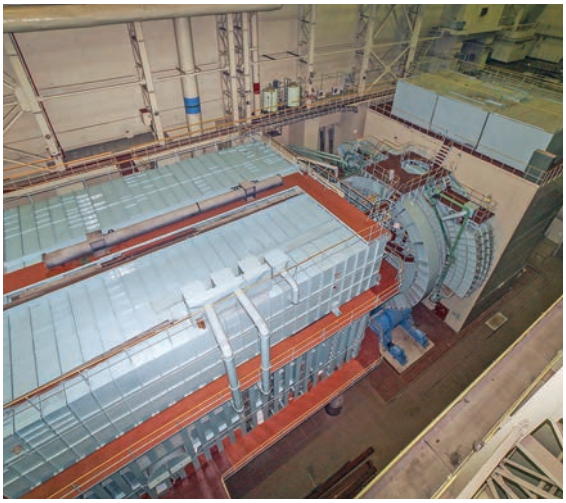
Пульт управления ЯЭУ КВ-1

Стенд КВ-1 введен в эксплуатацию в 1975 году для отработки и испытаний базовой ЯЭУ типа ОК-650 с водо-водяным теплоносителем для АПЛ третьего поколения. За 43 года на стенде КВ-1 выполнен колоссальный объём работ по испытаниям элементной базы перспективных активных зон и отработке технических решений для оборудования и систем ЯЭУ.

Результаты испытаний на стенде позволили на базе паропроизводящей установки ОК-650 создать унифицированную установку для последующих поколений АПЛ.

Реконструкция здания стенда КМ-1

Стенд КМ-1 был создан для испытаний паропроизводящей установки ОК-550 с жидкометаллическим теплоносителем для АПЛ проектов 701 и 705. При испытаниях на стенде получены уникальные результаты по технологии поддержания качества жидкометаллического теплоносителя, ресурсным характеристикам технологического оборудования ЯЭУ и активной зоны реактора, регламенту межпоходовых осмотров и ремонтов, алгоритмам управления ЯЭУ в различных режимах работы.



Стенд-прототип КВ-2

Стенд КВ-2 введен в эксплуатацию в 1996 году в НИТИ с транспортной паропроизводящей установкой моноблочного исполнения интегрального типа и естественной циркуляцией теплоносителя во всем диапазоне мощностей.

Универсальный атомный ледокол проекта 22220 типа «Арктика»

Отработанные на стенде КВ-2 технические решения нашли воплощение как в реакторной установке «Ритм-200», разработанной для универсального атомного ледокола нового поколения проекта 22220, так и в других типах транспортных ЯЭУ.

Неядерные экспериментальные стенды

Стенд КМС – крупномасштабная модель защитной оболочки АЭС с ВВЭР

В НИТИ создан ряд неядерных стендов для обоснования безопасности, испытания оборудования и систем АЭС, в том числе не имеющий аналогов в мире крупномасштабный стенд КМС, предназначенный для:

- отработки технических решений и проверки эффективности пассивных систем безопасности проектов АЭС с ВВЭР нового поколения;
- проведения экспериментов в обоснование водородной безопасности внутри защитных оболочек АЭС с использованием гелия как имитатора водорода.
- проведения верификационных экспериментов для современных трёхмерных расчётных кодов, описывающих пространственные внутриконтейментные теплогидравлические процессы при аварийных ситуациях на АЭС.

Стенд ВХГР

Стендовая база НИТИ непрерывно пополняется и совершенствуется для решения новых задач, стоящих перед институтом и атомной отраслью.

Установка ловушки расплава на энергоблоке Ленинградской АЭС-2

Исследование тяжелых аварий на АЭС

На предприятии действует уникальный комплекс экспериментальных установок «Расплав», предназначенный для исследования процессов при тяжелых авариях на АЭС.

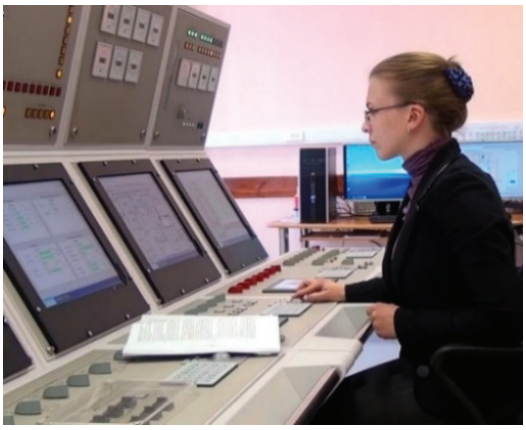
На основе результатов экспериментальных исследований, полученных на комплексе «Расплав», в НИТИ разработан жертвенный материал, используемый для создания устройств локализации расплава активной зоны (ловушек), устанавливаемых на всех вновь сооружаемых АЭС.

Сегодня наличие ловушки расплава является стандартом отрасли для всех проектов АЭС с ВВЭР в России и за рубежом.

Создание тренажерных комплексов

На базе разработанной в НИТИ технологии автоматизации «ТЕРМИТ» создано более сорока тренажеров и моделирующих комплексов различного класса и назначения.

На созданных в НИТИ тренажерных комплексах проходят подготовку операторы атомного ледокола «Арктика», плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» и экипажи объектов ВМФ.

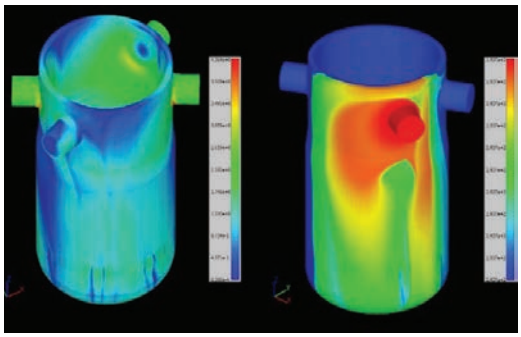


Полномасштабный тренажер для ОИАЭ

Расчётные коды нового поколения

НИТИ является разработчиком аттестованных Ростехнадзором расчётных кодов «КОРСАР» и «САПФИР» для численного моделирования нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в гражданской и транспортной атомной энергетике.

Коды КОРСАР и САПФИР широко используются проектантами (АО «Атомпроект», АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», АО «ОКБМ Африкантов») при создании и обосновании безопасности новых реакторных установок. Преимуществом данных расчётных кодов является высокий уровень их валидации и верификации на базе натурных экспериментов, выполненных на ядерных и локальных стендах НИТИ.



Моделирование температурных полей

Создание элементов систем физической защиты

В НИТИ создан модельный ряд обнаружителей взрывчатых веществ на пальцах рук человека: «ЧУБ», «Кратос», «Шельф», которыми оснащены многие КПП предприятий Госкорпорации «Росатом».

Благодаря высокой чувствительности и быстродействию разработанные в НИТИ обнаружители использовались для обеспечения безопасности участников и гостей XXII зимних Олимпийских игр в Сочи.

Химический и радиохимический контроль на ОИАЭ

В НИТИ реализуется комплекс работ по химическому и радиохимическому контролю и сопровождению эксплуатации ОИАЭ на всём жизненном цикле.

Специалистами НИТИ разработаны и внедрены на многих объектах атомной энергетики новые химические технологии обращения с жидкими радиоактивными отходами, дезактивации оборудования, промывки контуров ЯЭУ.

Оборудование автоматизированных систем радиационного контроля производства НИТИ используется на семи российских и зарубежных АЭС, и его номенклатура постоянно расширяется.

Одним из направлений является создание систем автоматического контроля качества воды и приготовления поверочных растворов заданного состава. Разработанные в НИТИ стенды приготовления поверочных растворов находят применение на АЭС.

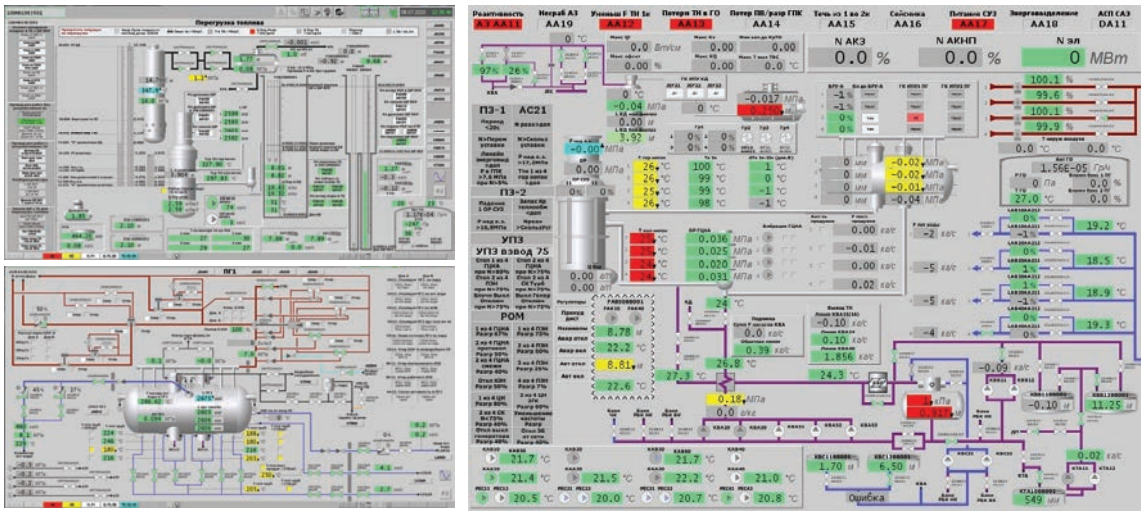
Модульная мембранно-сорбционная установка приготовления воды высокой чистоты

Комплекс защитных камер

В 2022 году в НИТИ завершилось строительство комплекса защитных камер – уникального сооружения для получения новых данных о фактическом состоянии элементов реакторных установок после проведения их испытаний и подтверждения правильности принятых конструкторских решений.

Разработка блочных пунктов управления АЭС

НИТИ — один из ведущих отраслевых разработчиков и проектантов концепций управления АЭС с ВВЭР и человеко-машинного интерфейса блочных пунктов управления для действующих и проектирующихся объектов использования атомной энергетики (ОИАЭ), в том числе, для ряда отечественных и зарубежных АЭС нового поколения.



Примеры видеокадров разработаных для человеко-машинного интерфейса оперативного персонала Ленинградской АЭС-2

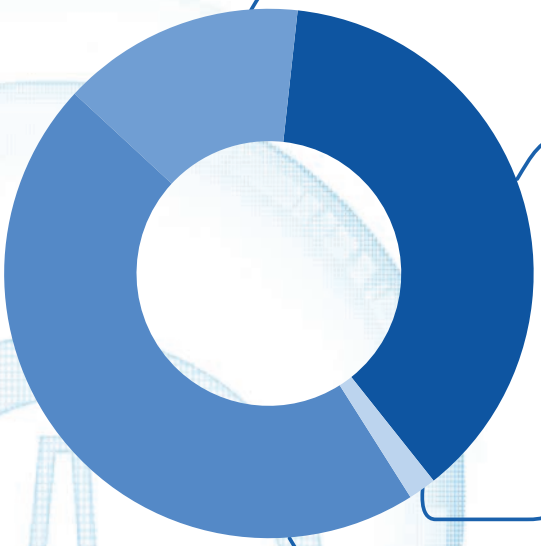
Блочный пункт управления ЛАЭС-2

Перевернув очередную страницу своей истории, коллектив НИТИ с оптимизмом смотрит в будущее и готов к решению новых задач по созданию перспективных объектов, оборудования и технологий для атомного флота и ядерной энергетики России.

1

1. Общие сведения

Кадровый состав института



Руководители:
335 чел. (16 %)

Рабочие:
689 чел. (32 %)

Служащие:
35 чел. (1,6 %)

Специалисты:
1069 чел. (50 %)

В институте работают
11 докторов наук
и 40 кандидатов наук

Основные научно-технические подразделения

ДИРЕКЦИЯ

Отделение динамических исследований	• Расчётно-экспериментальные исследования динамических характеристик ЯЭУ. • Обоснование безопасности испытаний. • Разработка и внедрение: систем технической диагностики, тренажёров и моделирующих комплексов; систем автоматизации натурного эксперимента; системного и прикладного математического обеспечения; систем автоматизации расчётных и проектных работ. • Производство электронных компонентов систем автоматизации и контроля.
Отдел химико-технологических исследований	• Разработка химических технологий обеспечения жизненного цикла ЯЭУ различного типа. • Совершенствование водно-химических режимов ЯЭУ различного типа. • Разработка технологий обращения с радиоактивными отходами. • Разработка систем и средств автоматизации химического, радиохимического и радиационного контроля для объектов ВМФ и АЭС. • Радиоэкологический и химический мониторинг в зоне воздействия объектов с ЯЭУ на окружающую среду. • Разработка и совершенствование средств обнаружения взрывчатых веществ для обеспечения физической защиты особо важных объектов.
Отдел нейтронно-физических исследований	• Расчётно-экспериментальные исследования нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов. • Аппаратура физического контроля, управления и диагностики. • Разработка расчётных программ.
Отдел теплофизических исследований	• Расчётно-экспериментальное обоснование безопасности и теплотехнической надёжности АЭС. • Исследования теплофизических характеристик ЯЭУ различного типа. • Разработка расчётных программ.
Отделение комплекс экспериментальных энергетических реакторов Отделение испытательный комплекс атомных реакторов	• Комплексные испытания и отработка основного технологического оборудования. • Модернизация и совершенствование технологических схем оборудования ЯЭУ на стендах-прототипах. • Ремонт оборудования.
Отдел исследований тяжёлых аварий	• Анализ тяжёлых аварий. • Экспериментальные исследования на стендах платформы «РАСПЛАВ».
Отдел метрологических исследований (метрологическая служба)	• Метрология и поверка средств измерений. • Первичные измерительные преобразователи. • Системы экспериментальных измерений.
Отдел главного конструктора АСУ ТП	• Автоматизированные системы контроля и управления для АЭС. • Информационно-измерительные системы для исследовательских стендов атомной и тепловой энергетики. • Проектирование компьютеризированных пунктов управления и контроля АЭС, разработка человеко-машинного интерфейса операторов АЭС. • Автоматизированные системы управления для объектов тепловой энергетики.
Конструкторский отдел	• Проектирование оборудования объектов атомной энергетики. • Проектирование технологического оборудования.
Отдел радиационной безопасности	• Дозиметрический и технологический контроль. • Радиоэкологический контроль. • Разработка автоматизированных систем радиационного контроля. • Разработка комплексов для поверки дозиметрических приборов.
Отдел по надзору за ядерной, радиационной и промышленной безопасностью	• Ядерная безопасность. • Техническая безопасность. • Учёт и контроль ядерных материалов и радиоактивных веществ.
Отдел управления качеством	• Обеспечение соответствия системы менеджмента качества установленным требованиям. • Организация и обеспечение проведения оценки соответствия продукции установленным требованиям. • Организация работ по внедрению и развитию Производственной системы «Росатом» в подразделениях института.

ЦЕННОСТИ РОСАТОМА

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

РОСАТОМ

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

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

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

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

Уважение
Мы с уважением относимся к нашим заказчикам, партнерам и поставщикам.
Мы всегда внимательно слушаем и слышим друг друга вне зависимости от занимаемых должностей и места работы. Мы уважаем историю и традиции отрасли. Достижения прошлого вдохновляют нас на новые победы.

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

2

2. Динамические исследования, создание тренажёров

2.1 Развитие функционального программного обеспечения системы ТЕРМИТ в части расширения возможностей моделирования динамики ЯЭУ и решения задач импортозамещения и информационной безопасности

И.А. Бырков, А.В. Ипатов, В.А. Корчагин, Д.В. Лялюев,
В.С. Погорелов, В.А. Сокольников, А.Г. Удовик

В настоящее время для разработки тренажеров и моделирующих комплексов различных объектов использования атомной энергии ведущими в данной области зарубежными и отечественными фирмами разработаны и применяются так называемые технологии моделирования. Эти технологии в максимальной степени (до 100 %) автоматизируют процесс создания программного обеспечения, существенно ускоряя его разработку и повышая качество создаваемых программно-технических комплексов. По существу с помощью технологий автоматизации процесс разработки, создания и сопровождения тренажеров и моделирующих комплексов ставится на промышленную основу.

Достойное место в ряду подобных систем занимает программный комплекс (ПК) ТЕРМИТ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013661824), разработанный во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». В 2011 году ПК ТЕРМИТ прошел экспертизу в федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ), результате которой принято решение о государственной регистрации товарного знака ТЕРМИТ.

На основе ПК ТЕРМИТ за эти годы разработано более 20 тренажеров и других моделирующих систем для различных объектов использования атомной энергии. Например, в рамках выполнения полученных на конкурсной основе контрактов с Мурманским Морским пароходством, Дирекцией ПАТЭС (Концерн «Росэнергоатом») и АО «Балтийский завод», ОДИ успешно разработало и поставило в соответствующие учебные центры

комплексные полномасштабные тренажеры судовой силовой установки ледокола «Арктика» (ПМТ «МГА-21»), плавучей атомной станции теплоэлектроснабжения (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» (ПМТ-20870), универсального атомного ледокола проекта 22220 (ПМТ-22220), функциональные тренажеры АТ-20870, ФТ-22220.

ПК **ТЕРМИТ** постоянно развивается с учётом решения новых задач, поставленных перед институтом. В настоящее время происходит очередная глубокая модернизация программного комплекса **ТЕРМИТ**, основными направлениями которой в части системного программного обеспечения (СПО) являются:

- разработка кроссплатформенной версии СПО ПК **ТЕРМИТ** для решения задач импортозамещения и информационной безопасности путем организации функционирования клиентских и серверных частей СПО ПК ТЕРМИТ в среде ОС ASTRA Linux, с сохранением возможности работы в ОС Windows;
- замена СУБД Oracle, используемой в составе СПО ПК **ТЕРМИТ**, на защищённую реляционную СУБД PostgreSQL, с сохранением возможности использования СУБД Oracle;
- совершенствование имеющихся и разработка новых инструментальных программных средств: векторных графических редакторов расчётных и функциональных схем, средств оптимизации выполнения ряда функций, предназначенных для повышения производительности труда пользователей, доработка имеющихся и создание новых средств расширения, сопровождения и интеграции ПК **ТЕРМИТ** с различными программными комплексами, в том числе сторонних организаций.

В части функционального программного обеспечения (ФПО) модернизация ПК ТЕРМИТ ведется в направлении создания кроссплатформенных версий (ASTRA Linux, Windows) расчётных кодов, соответствующих обновленному функционалу СПО ПК **ТЕРМИТ**. А именно:

- разработка версии 3.0 расчётного кода (РК) SELEN для моделирования нестационарных физических процессов в электрических сетях постоянного и переменного тока произвольной топологии и состава оборудования, расширение области применения и функциональных возможностей кода по сравнению с предыдущей версией SELEN 2.0;
- разработка версии 2.0 расчётного кода ПРАГИС для моделирования нестационарных теплогидравлических процессов в трубопроводных системах произвольной топологии с однофазным теплоносителем (вода, масло, жидкие металлы, газы) в несжимаемом приближении с расширением области применения кода по сравнению с предыдущей версией;
- разработка версии 2.0 расчётного кода АРТЕК для моделирования нестационарных теплогидравлических процессов в трубопроводных системах произвольной топологии с двухфазным теплоносителем (вода и парогазовая фаза) с учётом термической неравновесности фаз и с расширением функциональных возможностей кода по сравнению с предыдущей версией;
- разработка универсальной версии 2.0 расчётного кода КРАБ для моделирования нестационарных теплогидравлических процессов в трубопроводных системах произвольной топологии с многофазным теплоносителем (вода, пар, газы) в приближении двухфазного трёхкомпонентного термически неравновесного потока со скольжением фаз и расширение области применения по сравнению с предыдущей версией РК КРАБ (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021669757);

– разработка нового расчётного кода SIGNET для моделирования нестационарных газодинамических процессов в трубопроводных системах произвольной топологии с теплоносителем в виде двухкомпонентного газа в сжимаемом приближении.

Необходимость создания и использования по назначению сразу нескольких расчётных кодов (КРАБ, АРТЕК, ПРАГИС, SIGNET) разной степени сложности и области применения для моделирования теплогидрогазодинамических процессов в составе комплексных расчётных моделей энергетических установок определяется тем, что АЭС и ЯЭУ имеют в своем составе большое количество разнородных трубопроводных систем, отличающихся друг от друга как по типам, параметрам и свойствам теплоносителя, так и по характеру протекающих в них нестационарных процессов. Поэтому при создании комплексных математических моделей динамики АЭС и ЯЭУ для оптимального использования средств вычислительной техники с учётом необходимости проведения расчётов в реальном (тренажеры и расчётно-моделирующие комплексы для отработки и испытаний комплексных систем управления) или близкому к реальному масштабах времени (для многовариантных расчётов с помощью инженерных моделей в обоснование безопасности проектов) применяют, как правило, наборы программных кодов разной области применения и степени сложности.

Так, например, фирма GP International Engineering&Simulation (США) в составе своей технологии имеет расчётные коды THEATRe и G-FLOW, в состав технологии CETRAN фирмы ABB Stromberg (Финляндия) входят коды CEFLASH-4AS и THLF, у фирмы CORYS T.E.S.S. (Франция) в составе технологии ALICES имеются коды DRAC и Hydraulix. Первые пакеты из перечисленных пар используются для расчёта основных контуров теплообмена и основаны на негомогенных моделях двухфазных потоков, а вторые применяются для моделирования однофазных сред. В составе среды моделирования APROS финской фирмы IMATRAN VOIMA OY реализованы сразу четыре типа теплогидравлических моделей: однофазная и три двухфазных (гомогенная и две негомогенных с 5 и 6 уравнениями сохранения).

Общая особенность перечисленных выше кодов, как и кодов, составляющих функциональное наполнение системы ТЕРМИТ: все они разработаны в идеологии гибкой топологии и имеют графический интерфейс пользователя, позволяющий создавать модели теплогидравлических сетей (ТГС) любой топологии с минимальными временными затратами.

Необходимо подчеркнуть важнейшее преимущество технологии ТЕРМИТ по сравнению с аналогичными отечественными системами автоматизации (*ЭНИКАД, SimlnTech, USDS, САПР САПФИР* и т.д.) создания комплексных (полномасштабных) моделей динамики энергоблоков: наличие в её составе системного кода улучшенной оценки КОРСАР, аттестованного Ростехнадзором РФ для расчётов, выполняемых в обоснование безопасности судовых водоводяных реакторных установок (ат. паспорт № 355 от 17.04.2014) и реакторных установок для АЭС с РУ ВВЭР (ат. паспорт № 263 от 23.09.2009). Это позволяет сочетать преимущества полномасштабного моделирования энергоблоков (установок) с точностью и качеством расчётов по инженерным моделям улучшенной оценки наиболее важных технологических систем.

Разработка расчётного кода SELEN версии 3.0

Главная особенность обновленной версии кода SELEN определяется переходом в физико-математическом описании работы электрических машин и трансформаторов с алгебраических уравнений к решению систем дифференциальных уравнений. Это позволит более точно, по сравнению с текущей версией 2.0, моделировать следующие режимы:

- возбуждение генератора переменного тока;
- перераспределения нагрузок и токов в генераторах при параллельной работе;
- выбег нескольких асинхронных двигателей, находящихся в одной сети переменного тока;
- работу аккумуляторной батареи (АБ) в зарядном и подзарядном режимах, а так же учёт ЭДС нескольких АБ, расположенных в одной сети постоянного тока;
- учёт газовыделения в АБ;
- учёт реактивной составляющей в электрических сетях (ЭС);
- расширения моделируемых типов короткого замыкания и заземление.

Заложенная в основу расчётного кода математическая модель обеспечивает:

- использование системы уравнений Горева-Парка для моделирования работы ЭС и оборудования в эксплуатационных и аварийных режимах;
- работу нескольких источников и потребителей в параллельном режиме;
- моделирование короткого замыкания в электрической сети.

Состав моделируемых элементов достаточен для построения ЭС произвольной топологии с любым непротиворечивым размещением электрооборудования.

В отчетном году в целом были завершены работы по модернизации и тестированию следующих специализированных программных модулей, входящих в состав кода SELEN 3.0:

- генератор постоянного тока;
- генератор переменного тока 50 Гц;
- генератор переменного тока 400 Гц;
- аккумуляторная батарея;
- асинхронный двигатель переменного тока;
- двигатель постоянного тока;
- трансформатор;
- электромашинный обратимый преобразователь из сети 50 Гц в сеть постоянного тока и обратно;
- электромашинный преобразователь переменного трёхфазного тока из сети 50 Гц в трёхфазную сеть 400 Гц;
- электромашинный преобразователь из сети постоянного тока в трёхфазную сеть переменного тока (50 Гц и 400 Гц);
- электромашинный преобразователь из сети постоянного тока в однофазную сеть переменного тока;
- электромашинный преобразователь из сети переменного трёхфазного тока в однофазную сеть переменного тока;
- автоматы и выключатели;
- запорное устройство.

Набор входных и выходных данных моделируемых элементов и специализированных модулей должен обеспечить возможность совместной работы в составе единой модели с элементами расчётных кодов: АРТЕК, ПРАГИС, SIGNET (через электрические приводы насосов, компрессоров, вентиляторов, запорной и регулирующей арматуры) и пакета прикладных программ АКУЛА моделирования КСУ, входящих в ПК **ТЕРМИТ**.

Пределы моделирования расчётного кода SELEN 3.0 определяются пределами возможных повреждений основных моделируемых элементов ЭС в условиях протекания проектных аварий, исключая режимы возгорания оборудования, плавления изоляционных материалов. Расчётный код SELEN 3.0 должен моделировать следующие аварийные режимы работы ЭС и оборудования:

- остановка генератора;
- снижение частоты до 15 % от номинала;
- снижение напряжения до 25 % от номинала для сети переменного тока;
- снижение оборотов генератора до 15 % при параллельной работе;
- отсутствие автоматической синхронизации при включении генератора;
- отказ срабатывания реле обратной мощности;
- снижение сопротивления изоляции;
- короткое замыкание межфазное;
- короткое замыкание на землю;
- короткое замыкание межфазное на землю;
- неправильное чередование фаз;
- обрыв одной или двух фаз.

Разработка расчётного кода SIGNET

Новые направления деятельности института приводят к необходимости создания программных средств и для новых областей применения. Так возникла задача расширения функционального наполнения программного комплекса ТЕРМИТ в части создания расчётного кода для моделирования динамических процессов в теплогидравлических сетях произвольной топологии с теплоносителем в виде газа или газовой смеси в реальном масштабе времени.

Расчётный код SIGNET должен:

- моделировать нестационарные теплогидравлические процессы в теплогидравлических сетях произвольной топологии с теплоносителем из газа или смеси двух газов (воздух, азот, кислород, гелий, водород, углекислый газ, аргон, ксенон) в термически равновесном и гомогенном приближении;
- учитывать динамическое изменение массовой доли каждого газа в составе двухкомпонентной смеси;
- обеспечивать расчёт термодинамических величин газового теплоносителя в широком диапазоне давлений и температур, охватывающем все эксплуатационные и аварийные режимы работы ЯЭУ;
- обеспечивать выполнение законов сохранения массы компонент газовой смеси, импульса и внутренней энергии;
- обеспечивать расчёт переноса концентраций в теплогидравлической сети;
- иметь систему замыкающих соотношений, включающих в себя уравнение состояния идеального (реального) газа, замыкающих соотношений по теплообмену для определения сил трения о стенки каналов;
- обеспечивать расчёт критических истечений.

Состав моделируемых типовых элементов РК SIGNET должен быть достаточным для построения расчётных схем газовых сетей произвольной топологии и составом оборудования для моделирования нестационарных процессов в системах с газовым теплоносителем.

В отчетном году были завершены работы по реализации численного алгоритма и созданию программных модулей, моделирующих работу типового оборудования. Проведены работы по тестированию РК SIGNET, в том числе расчёты реальных газовых контуров и сравнение с проектными данными. Начаты работы по верификации РК SIGNET.

Разработка расчётного кода КРАБ 2.0

Расчётный код КРАБ длительное время развивался и с успехом использовался для расчётов динамических процессов, в том числе и в обоснование безопасности транспортных ЯЭУ. Код основан на системе одномерных уравнений сохранения массы, энергии и импульса для паро-газо-водяного теплоносителя с произвольным объёмным содержанием компонент смеси в приближении двухфазного трёхкомпонентного термически неравновесного потока со скольжением фаз. Основой реализованного в коде КРАБ алгоритма численного решения является применение глобально-безытерационных абсолютно устойчивых консервативных полунеявных численных схем с линеаризацией и «расщеплением» решения на тепловую и гидродинамическую задачи, позволяющих рассчитывать динамику двухфазных течений с шагом интегрирования по времени, не зависящим от критерия Куранта.

Применение этой схемы вместе с предложенными процедурами преобразования трёхточечных уравнений, направленными на увеличение степени диагонального преобладания соответствующих матриц при расчёте полей давлений и энтальпий, а также разработанным устойчивым и быстросходящимся алгоритмом расчёта истинного объёмного паросодержания, позволили проводить динамические расчёты в широком диапазоне изменения параметров, вплоть для сверхнизких давлений и при числах Куранта, существенно превышающих единицу.

Отличительной особенностью разработанных алгоритмов расчёта является их слабая зависимость от принятой физической модели двухфазного потока: таким образом, переход от простых гомогенных моделей течения к сложным полностью неравновесным двухжидкостным моделям увеличивает размерность задачи, но не вносит принципиальных изменений в схему алгоритмов. Это в свою очередь оставляет возможность развития кода в части применения в дальнейшем более сложных математических моделей двухфазного потока.

Современные тенденции развития технологий разработки тренажеров ЯЭУ предполагают задействование кодов улучшенной оценки для моделирования наиболее энергонапряженного оборудования и систем. Поэтому была поставлена задача создания «универсальной» версии КРАБ 2.0, позволяющей создавать расчётные модели ТГС произвольной топологии. Быстродействующий код улучшенной оценки КРАБ 2.0 призван расширить функциональное наполнение программного комплекса **ТЕРМИТ**, обеспечивая моделирование отдельных процессов в «реалистичном приближении» и заняв промежуточное положение по сложности, реализованной в его составе физико-математической модели, между РК КОРСАР и РК АРТЕК.

Разработка расчётного кода АРТЕК 2.0

Расчётный код ARTEK первой версии был создан в начале 2000-х годов для расчёта в реальном масштабе времени динамических процессов в разветвленных пароводяных

контурах на основе модели в равновесном и гомогенном приближении и использовался в основном при создании тренажеров для ЯЭУ. Успешное применение РК АРТЕК 1.0 в течение 20 лет в различных проектах по созданию моделирующих систем показало высокую эффективность реализованного в нем вычислительного алгоритма на основе полностью неявной конечно-разностной схемы и возможности дальнейшего развития кода с целью расширения его области применения.

Базис физико-математической модели обновленной версии кода АРТЕК 2.0 составляет система из пяти дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих законы сохранения для одномерной гидравлической сети, а именно: уравнения сохранения массы для смеси, парогазовой компоненты и газа, импульса и внутренней энергии смеси.

Включение в расчётный код дополнительных уравнений парогазовой смеси для учёта термодинамической неравновесности потребовало проведение модернизации системы замыкающих соотношений и программных модулей, описывающих работу типового оборудования ТГС. Был также расширен состав типового моделируемого оборудования путем разработки и интеграции в расчётный код новых программных модулей.

Важная особенность расчётного кода АРТЕК 2.0 состоит в том, что он позволил успешно моделировать динамику основных контуров ЯЭУ не только в спецификационных условиях, но и, в так называемых, оконечных режимах, связанных с заполнением, осушением, отсечением, расхолаживанием и продуванием ТГС с учётом фазовых переходов в них, что очень важно для создания всережимных комплексных моделей энергетических установок.

В версии кода АРТЕК 2.0 значительно увеличился объём интеллектуального анализа входных данных, предназначенного для поддержки пользователей кода при создании расчётных схем ТГС в соответствующем графическом редакторе, входящем в состав программно-инструментальной среды системы ТЕРМИТ. В зависимости от критичности несоответствий, выявленных при машинном анализе входных данных по геометрии ТГС или моделируемому оборудованию, выдаются комментарии с указанием ошибок или предупреждений о возможных коллизиях. Например, контролируется неправильное задание перепада высот по замкнутым контурам и высотам трубопроводных врезок в баки, несоответствие геометрии на связях между расчётными ячейками с теплоносителем и теплопроводящими конструкциями и другие.

В настоящее время ведутся работы по тестированию и верификации кода АРТЕК 2.0, а также по разработке программной документации.

Разработка расчётного кода ПРАГИС 2.0

Основные работы при создании новой версии 2.0 расчётного кода ПРАГИС направлены на разработку сервисных функций, позволяющих достаточно оперативно редактировать и вводить теплофизические свойства теплоносителя при моделировании различных технологических систем (ТС). Например, свойства конкретного типа масла, топлива, газа, жидкости или жидкого металла, используемые в составе конкретной, подлежащей моделированию ТС, представляющей собой теплогидравлический контур с однофазным теплоносителем.

В рамках работ по модернизации РК ПРАГИС до версии 2.0:

– разработаны программные модули для реализации связей с расчётными кодами АРТЕК и SIGNET по граничным условиям и модулям типового оборудования ТГС с целью повышения функциональных возможностей ПК ТЕРМИТ при создании

комплексных моделей с использованием разных расчётных кодов.

– расширен перечень задаваемых параметров в исходных данных для элементов ТГС по аналогии с заданием данных для РК АРТЕК и SIGNET.

– разработаны программные функции для выполнения единых требований к типовому оборудованию ТГС и датчикам по реализации так называемых стандартных аварийных вводных (отказов).

В настоящее время ведутся работы по тестированию, верификации и апробации кода ПРАГИС 2.0 в текущих проектах моделирующих комплексов и тренажеров, а также начата разработка актуальной программной документации.

Литература

Космические ядерные энергетические установки суб- и мегаваттного класса. / Ю.Г. Драгунов [и др.] // Проблемы машиностроения и автоматизации .— 2014.— № 2. — с. 97—109.

2.2 Проектные решения по системе управления ЯЭУ реконструируемого стенда КМ-1

Батраков С.В., Дербуков Е.И., Ельшин М.А., Ефимов В.А. (ОДИ), Лукьянов Е.М. (ОР АСУ ТП), Моисеев К.В. (ОКЭЭР), Семенов А.И., Черных В.П. (ОДИ)

При создании новой техники приходится обращаться к опыту прошлого, тем более что эксперты оценивают АПЛ проекта 705 с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) на жидком металле как самый неоднозначный образец подводного кораблестроения, и до сих пор продолжается спор: был ли проект 705 прорывом, опередившим свое время.

Успешно завершившиеся испытания ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ) в первом контуре, продолжавшиеся 8 лет на стенде КМ-1 и закончившиеся в июле 1986 года, подтвердили конструкторские решения и перспективность направления создания транспортных ЯЭУ большой мощности в малом объёме. Успех испытаний определялся как уровнем разработки собственно реактора, парогенераторов, всех технологических систем, так и уровнем эксплуатации. Эксплуатация ЯЭУ на стенде КМ-1 велась технически грамотно, умело и уверенно.

Опыт, накопленный при создании тренажеров и расчётно-моделирующих комплексов ЯЭУ разных типов, информационно-вычислительных комплексов автоматизированной обработки информации, получаемой в процессе испытаний установок, а также систем управления обеспечивающими технологическими системами в составе испытательных стендов, позволил институту взять на себя обязанности головного исполнителя по разработке комплексной системы управления техническими средствами стенда КМ-1, включая систему управления ЯЭУ.

Последняя задача для нас была новой в плане проектных и конструкторских решений, с новым уровнем ответственности по обеспечению ядерной и радиационной безопасности будущей ЯЭУ.

Ниже кратко излагаются основные результаты технического проектирования системы управления ЯЭУ с ППУ с ЖМТ.

Постановка задачи

Целью разработки технического проекта СУ ЯЭУ является создание на основе современных высоконадёжных программно-технических средств автоматизированной системы, которая обеспечивает управление ЯЭУ в соответствии с проектными требованиями и реализует уровень безопасности в отношении возможных аварийных ситуаций или аварий, определяемый положениями нормативных документов.

СУ ЯЭУ предназначена для централизованного контроля, надёжного управления и защиты технических средств ЯЭУ реконструируемого стенда КМ-1 в режимах нормальной эксплуатации, при нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии, а также для обеспечения пуско-наладочных и ремонтных работ. При запроектных авариях система обеспечивает контроль состояния ЯЭУ по сохранившим работоспособность источникам информации и информационную поддержку операторам ЯЭУ по действиям в чрезвычайных ситуациях.

СУ ЯЭУ функционирует во взаимодействии с системой управления технологическими системами стенда КМ-1 (СУ ТСС) и другими системами: измерительно-вычислительным комплексом «АНИС-КМ1»; комплексной системой диагностирования, обеспечивающей возможность прогнозирования остаточного ресурса оборудования ППУ; автоматизированной системой радиационного контроля стенда КМ-1. По отношению к СУ ЯЭУ указанные системы являются внешними.

СУ ТСС выполняет функции автоматизированного контроля и управления технологическими системами стенда КМ-1, обеспечивающими ЯЭУ рабочими средами и электроэнергией, а также создающими условия для деятельности оперативного и обслуживающего персонала.

СУ ЯЭУ и СУ ТСС во взаимодействии образуют комплексную систему управления техническими средствами стенда КМ-1.

Принципы построения, основные структурные, системные, функциональные и технические решения, принятые и обоснованные в техническом проекте СУ ЯЭУ

СУ ЯЭУ спроектирована в виде программно-технического комплекса, имеющего двухуровневую иерархическую распределённую структуру и построенного на современной элементной базе с применением микропроцессорных программно-технических средств (ПТС).

В качестве базовых микропроцессорных ПТС используются модули с уровнем обеспечения полноты безопасности УПБ3, а также стандартные модули, совместимые с модулями безопасности.

Аппаратура и ПТС верхнего уровня обеспечивают представление и регистрацию (в оперативном объёме) на пультах управления, расположенных в центральном и резервном постах, информации о режимах работы ЯЭУ, состоянии её технических средств и результатах контроля технологических параметров ЯЭУ. С помощью ПТС верхнего уровня реализуются алгоритмы дистанционного управления техническими средствами ЯЭУ, алгоритмы автоматизированного пуска и автоматизированного останова и расхолаживания ЯЭУ.

Предусматриваемые проектом СУ ЯЭУ объём автоматизации и современный человеко-машинный интерфейс позволяют осуществить управление техническими средствами ЯЭУ силами двух операторов (инженером-технологом и инженером-электриком). В центральном посту управления предусмотрено также размещение автоматизированного рабочего места начальника смены и пульта контроля и диагностики – рабочего места инженера КИПиА для представления информации о результатах контроля состояния аппаратуры и ПТС СУ ЯЭУ. Все ПТС верхнего и нижнего уровней охвачены встроенными аппаратными средствами и программными процедурами контроля и диагностики.

В состав ПТС верхнего уровня входит информационно-вычислительная система, обеспечивающая обработку, регистрацию и хранение информации, формируемой в СУ ЯЭУ за весь период эксплуатации ЯЭУ, а также информации, передаваемой в СУ ЯЭУ из локальных систем управления, информации, формируемой в СУ ТСС и автоматизированной системе радиационного контроля.

Аппаратура нижнего уровня разделена на функционально-самостоятельные смежные системы управления:

- управляющая система безопасности по технологическим параметрам (УСБТ) в виде трёх комплектов-каналов аппаратуры;
- система управления ППУ (два комплекта аппаратуры);
- система управления ПКУ (один комплект аппаратуры);
- система управления ЭЭС (два комплекта аппаратуры);
- система управления ВСС (два комплекта аппаратуры);
- система электропитания программно-технического комплекса СУ ЯЭУ и локальных систем управления;
- система управления электрообогревом корпуса (СУ ЭОК) моноблока.

В комплектах аппаратуры нижнего уровня, структурно и физически разделённых в соответствии с функциональным назначением управляемых технических средств ЯЭУ, реализуются различные алгоритмы:

- обработки информации;
- автоматического управления техническими средствами;
- формирования уставок для автоматического регулирования технологических параметров;
- сигнализации и контроля;
- автоматизации дистанционного управления.

Количество электрических сигналов в СУ для сопряжения с техническими средствами ЯЭУ и локальными системами управления составляет (с учётом резерва): аналогового ввода – 850, дискретного ввода – 2310; аналогового вывода – 40, дискретного вывода – 2050.

Общее количество сигналов, передаваемых между УСБТ и смежными системами (СУ ППУ, СУ ЭЭС и СУ ПКУ, а также локальными системами управления), не превышает 200 сигналов.

По отношению к обеспечению ядерной и радиационной безопасности в СУ ЯЭУ реализованы: функции безопасности; функции нормальной эксплуатации, важные для безопасности; функции нормальной эксплуатации, не влияющие на безопасность. Функции разделены по комплектам аппаратуры соответствующих категорий:

- УСБ + УСНЭ ВБ (комплекты-каналы УСБТ и комплекты СУ ППУ);
- УСНЭ ВБ (комплекты СУ ЭЭС, СУ ВСС, пультов управления ГЭУ и ЭЭС, а также пульта аварийного расхолаживания ЯЭУ);
- УСНЭ (комплекты СУ ПКУ, СУ ЭОК, пульта контроля и диагностики, информационно-вычислительной системы).

Предусмотрено структурное резервирование составных частей СУ ЯЭУ:

- два независимых комплекта аппаратуры в составе управляющих систем категории УСБ и УСНЭ ВБ;
- три независимых канала (комплекта аппаратуры) в составе управляющей системы безопасности УСБТ;
- наличие основного пульта управления и пульта аварийного расхолаживания;
- двойной комплект средств обмена информацией между комплектами аппаратуры СУ ЯЭУ в составе основной сети Ethernet верхнего уровня и сети Ethernet нижнего уровня.

Комплекты аппаратуры состоят из типовых приборов, спроектированных с использованием апробированных программно-аппаратных средств:

- резервированные приборы управления ПРУ (основной и резервный) на базе платформ ПЛК управления с технологией резервирования;
- не менее трёх канальных приборов ввода-вывода ПВВ в каждом комплекте;
- локальная дублированная сеть RegulBus удалённого ввода/вывода сигналов, связывающая ПРУ и ПВВ;
- не менее трёх канальных кроссовых приборов сопряжения ПС в каждом комплекте;
- приборы релейные одноканальные ПР1;
- приборы релейные трёхканальные ПР3 с аппаратным мажорированием дискретных сигналов «2 из 3»;
- приборы управления электромагнитными клапанами ПУЭК с аппаратным мажорированием дискретных сигналов «2 из 3» и «2 из 4»;
- прибор гальванической развязки и размножения на несколько направлений аналоговых сигналов ПГР для отображения важных параметров на показывающих приборах пультов;
- прибор размножения дискретных сигналов ПРДС;
- прибор размножения аналоговых сигналов ПРАС;
- не менее трёх (в каждом комплекте) канальных приборов бесперебойного питания ПБП с резервированным электропитанием по входу от двух фидеров.

Для обеспечения требуемой надежности каналы аппаратуры СУ ЯЭУ, выполняющие информационные, измерительные и управляющие функции, важные для безопасности, а также ключевые элементы системы резервированы.

Предусмотрено также структурное резервирование каналов бесперебойного питания и элементов питания в составных частях СУ ЯЭУ:

- использование в приборах бесперебойного питания общего автомата включения резерва (для резервирования питания на входе ИБП от двух фидеров);
- обеспечение функционирования пультов и аппаратуры комплектов/каналов СУ питанием от источников бесперебойного питания в течение не менее 30 минут в процессе расхолаживания ЯЭУ в случае аварийного перехода на электропитание

от внутреннего источника (аккумуляторной батареи) до перехода на питание от резервного внешнего источника (дизель-генератора).

Проектом предусмотрена гальваническая развязка:

- между комплектами аппаратуры пультов, которые являются сегментами оптического кольца сети Ethernet;
- между СУ ЯЭУ и внешними системами за счет использования оптических кабелей связи;
- между СУ ЯЭУ и СУЗ, локальной системой управления МГДН за счет использования оптических кабелей связи, а также каналов ввода-вывода с гальванической развязкой в соответствии с характеристиками модулей ввода-вывода;
- между аппаратурой СУ ЯЭУ и техническими средствами ЯЭУ: в каналах ввода аналоговых и дискретных сигналов – за счет использования измерительных преобразователей с гальванической развязкой, «сухих» контактов, модулей ввода с гальванической развязкой по входу, а в каналах выдачи команд управления – за счет использования промежуточных реле в приборах ПР1 и ПР3, специализированных модулей в составе приборов ПУЭК;
- между каналами электропитания, как от ЭЭС, так и от приборов бесперебойного питания.

Ограничение последствий при отказах по общей причине при функционировании аппаратуры СУ ЯЭУ в экстремальных условиях достигается за счёт следующих проектных решений:

- территориальное физическое разделение аппаратуры составных частей системы;
- гальваническая развязка по оптическим кабелям связи;
- гальваническая развязка по цепям питания показывающих приборов в составе пультов управления;
- использование как трёхканального проводного интерфейса, так и локальной сети Ethernet для обмена сигналами, важными для безопасности, между комплектами СУ, УСБТ и локальными системами;
- применение защитных автоматов (предохранителей) в распределительных щитах питания и приборах для защиты от коротких замыканий в цепях электропитания на всех уровнях системы;
- применение материалов, не поддерживающих горение;
- своевременное пополнение, восстановление и контроль ЗИП при его расходовании.

Информация о выявленных неисправностях и отказах технических средств ЯЭУ выдаётся (в сопровождении звуковых сигналов разной тональности) на пульты управления в виде предупредительной сигнализации:

- обобщённой – с указанием технологической системы;
- индивидуальной – с указанием исполнительного механизма и датчика на видеокадре технологической системы;
- сообщений (в электронном журнале событий – с привязкой ко времени) о возникновении отказов при выполнении (отработке) команд (автоматического или автоматизированного управления) или несанкционированном изменении состояния/положения исполнительного механизма.

Информация о состоянии программно-технического комплекса СУ ЯЭУ и выявленных

отказах ПТС представляется на видеокадрах пульта контроля и диагностики в соответствии с иерархией отказов.

Опыт эксплуатации аналогичной системы управления свидетельствует, что развитый автоматический контроль программно-технического комплекса и оперативное представление информации об отказах на пульте контроля и диагностики позволяют довести среднее время устранения отказов до 15 минут за счёт использования запасных изделий из комплекта ЗИП (без учёта времени доставки ЗИП). Таким образом, требуемая отказоустойчивость и поддержание исходного уровня резервирования ПТС обеспечиваются своевременной заменой отказавшего модуля.

Программное обеспечение (ПО) СУ ЯЭУ состоит из компонент двух категорий:

- ПО промышленных компьютеров в составе пультов управления;
- ПО контроллеров;
- ПО промышленных компьютеров состоит из операционной системы, Runtime-задачи (SCADA-системы) и проекта, реализуемого в рамках SCADA-системы. В качестве операционной системы на всех промышленных компьютерах предполагается использовать защищённую ОС Astra Linux. Проект человеко-машинного интерфейса разрабатывается в редакторе многоплатформенной SCADA-системы. ПО хранится на дисках компьютеров, автоматически загружается в ОЗУ и запускается при включении питания;
- ПО контроллеров состоит из специализированной операционной системы и программного проекта. Выполнение программного проекта контроллера осуществляется по циклограмме, при этом последовательность выполнения программных блоков ПО задается на этапе разработки. В каждом цикле выполнения производится сбор информации с модулей ввода, выполнение алгоритмов обработки информации и управления, вывод сигналов управляющих воздействий на модули вывода и обмен данными по сети. Расчётное время выполнения циклов в контроллерах ориентировочно составляет от 50 до 100 мс;
- в комплектах аппаратуры применяются дублированные контроллеры управления, которые функционируют как единое целое, с реализацией технологии резервирования. Таким образом, единичный отказ контроллера не приводит к нарушению выполнения функций, важных для безопасности;
- в ходе разработки технического проекта СУ ЯЭУ выполнены мероприятия по реализации сквозной технологии проектирования и отладки программного обеспечения, отработки аппаратуры СУ ЯЭУ на базе специализированного программно-технического комплекса в составе испытательного полигона.

Использование рассмотренной технологии позволяет:

- подтвердить экспериментальным путём эксплуатационные характеристики аппаратуры до поставки системы на стенд;
- проверить алгоритмы функционирования, выявить и устранить ошибки и дефекты программного обеспечения, а в последующем – при внесении изменений в алгоритмы функционирования по результатам этапов испытаний ЯЭУ на стенде КМ-1 – обеспечить всестороннюю проверку и отладку проектов, загружаемых в контроллеры приборов управления, а также приложений, устанавливаемых на компьютерах в составе пультов.

Наладка и тестирование функционально-самостоятельных программно-технических комплектов аппаратуры СУ ЯЭУ на полигоне обеспечит валидацию разработанного ПО

в полном объёме и позволит минимизировать сроки и трудоемкость пуско-наладочных работ на стенде.

Заключение

Проектные решения по СУ ЯЭУ соответствуют современным подходам к созданию систем управления для ядерных энергетических установок и позволят в установленные сроки разработать рабочую конструкторскую документацию, изготовить и ввести в действие комплексную систему управления техническими средствами стенда КМ-1 с требуемыми технико-экономическими показателями.

Глубокий модернизационный потенциал (20–30 лет), предусмотренный проектом, позволяет адаптировать систему управления под новые задачи при изменении состава ЯЭУ в процессе её отработки на наземном стенде-прототипе.

2.3 Модернизация полномасштабного и аналитического тренажеров с целью приведения в соответствие энергоблоку прототипу ПЭБ проекта 20870 плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов»

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

Разработка, изготовление и поставка полномасштабного (ПМТ) и аналитического (АТ) тренажеров для подготовки оперативного персонала первой в мире плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» на базе плавучего энергоблока проекта 20870 была завершена специалистами отделения динамических исследований в ноябре 2012 года – задолго до окончания строительства и проведения комплексных швартовых испытаний ПЭБ в 2019 году и пусконаладочных работ на площадке в г. Певек с вводом ПАТЭС в эксплуатацию в 2020 году.

Тренажеры все это время успешно эксплуатировались по назначению, однако с момента сдачи их в эксплуатацию в проекте энергоблока-прототипа произошли существенные и многочисленные изменения, которые определяют необходимость модернизации ПМТ и АТ для приведения их в соответствие текущему состоянию энергоблока прототипа в целях обеспечения качественной подготовки оперативного персонала ПАТЭС.

Описание объектов модернизации

ПМТ и АТ ПАТЭС позволяют проводить полный цикл подготовки оперативного персонала центрального поста управления (ЦПУ) плавучего энергоблока, включая первоначальную подготовку, переподготовку и поддержание уровня квалификации.

ПМТ максимально точно имитирует обстановку помещения ЦПУ и при обучении оперативного персонала позволяет отрабатывать как понятийные, так и моторные навыки управления энергоблоком прототипом. Аналитический тренажер используется для, так называемой, предтренажерной подготовки, позволяя отрабатывать понятийные навыки и

повышать знания оперативного персонала в динамике физических процессов, происходящих в ЯЭУ, в том числе и в аварийных режимах.

Вид фрагмента технических средств полномасштабного тренажера ПАТЭС

В состав ПМТ ПАТЭС входят:

- полномасштабные имитаторы пультов:
  - РУ-ПТУ1 (пульт управления реакторной и паротурбинной установками № 1);
  - РУ-ПТУ2 (пульт управления реакторной и паротурбинной установками № 2);
  - ЭЭС (пульт управления электроэнергетической системой);
  - начальника смены (пульты управления общесудовыми системами (ОСС), береговыми системами, централизованной информационно-вычислительной системой (ЦИВС));
  - инженера-дозиметриста (стойки пультов системы радиационного контроля (СРК), автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) и промышленного телевидения (ПТВ));
  - приборы управления в режиме полного обесточивания № 1 и № 2;
  - пульты аварийного расхолаживания №1 (ПАР-1) и № 2 (ПАР-2);
- система ввода-вывода информации (СВВИ);
- вычислительный комплекс, включающий:
  - главный компьютер – сервер;
  - компьютеры рабочего места руководителя обучения (РМИ) с принтером;
  - активное и пассивное сетевое оборудование;
  - аппаратуру вторичного электропитания;
- громкоговорящая, телефонная, безбатарейная телефонная связь и трансляционное вещание, аналогичные установленным на энергоблоке прототипе;

– специальное системное и функциональное программное обеспечение, предназначенное для моделирования физических процессов в технологических системах ПАТЭС и осуществления сервисных функций по управлению учебным процессом на тренажере.

В составе АТ, в отличие от ПМТ, полномасштабные имитаторы пультов заменены их информационными моделями, представленными на дисплеях компьютеров, и отсутствует аппаратура СВВИ. В остальном состав АТ аналогичен ПМТ.

Модернизация тренажеров с целью приведения в соответствие энергоблоку прототипу была проведена за 12 месяцев в 2021–2022 гг. и заключалась в выполнении следующих видов работ:

– модернизация комплексной математической модели (КММ) ПАТЭС с заменой устаревшей на актуальную версию системы автоматизации моделирования ТЕРМИТ разработки НИТИ,
– полная переработка человеко-машинного интерфейса АСУ ТП ПАТЭС в части видеокадров, представленных на мониторах пультов ЦПУ и видеокадров местных постов управления, реализованных в составе РМИ,
– приведение имитаторов пультов ПМТ в соответствие блоку прототипу с заменой технических средств вычислительного комплекса тренажеров.

Модернизация комплексной математической модели тренажеров

В рамках выполнения работ по модернизации комплексной математической модели проведены полная ревизия существующих в составе тренажеров моделей 108 технологических систем (ТС) ПАТЭС сравнением с актуальной проектной информацией с выявлением и устранением несоответствий с проектной документацией, автономная отладка моделей ТС, комплексирование отдельных моделей ТС в состав КММ и её отладка.

Выполнены работы по тестированию КММ тренажеров и её верификации на этапе комплексных испытаний тренажеров по экспериментальным данным, полученным по результатам проведения КШИ плавучего энергоблока и на самой ПАТЭС во время ПНР и после ввода в эксплуатацию.

В результате верификации комплексной математической модели энергоблока прототипа выпущен верификационный отчет [1], в котором обосновано соответствие точности моделирования динамики на тренажерах требованиям, предъявляемыми нормативными документами, регламентирующими вопросы создания тренажеров [2–3].

Переработка интерфейсной части ПМТ и АТ

Кроме модернизации ПО, моделирующего динамику ПАТЭС, большая часть работ была связана с полной переработкой всего программного обеспечения человеко-машинного интерфейса АСУ ТП энергоблока прототипа.

Основная часть работ по данному направлению определяется приложением к ТЗ, где представлен перечень пультовых видеокадров ПМТ, АТ и РМИ, подлежащих либо переработке, либо полной разработке. Так же существенной доработке подверглись видеокадры, реализующие функции местного (удаленного) управления оборудованием, имитация управления которым производится инструкторами с РМИ по командам операторов из ЦПУ.

Дополнительно к указанному перечню в результате ревизии проектной документации на АСУ ТП добавлены работы по разработке следующих видеокадров:

– панельной станции ПАР;
– местных постов управления приема и выдачи топлива;
– местных постов управления приема и выдачи масла;
– местных постов ВМ КО и МО-2.

Модернизация модели человеко-машинного интерфейса включала работы по созданию графических образов видеокадров и программную реализацию логики цветовой засветки с привязкой к соответствующим сигналам комплексной математической модели, реализующей функции формирования сигналов состояния оборудования.

В рамках проведения модернизации тренажеров разработана абсолютно новая система, имитирующая функционал штатной графической системы вывода трендов на пультовые видеокадры, которую предприятие главного конструктора АСУ ТП внедрило на энергоблоке прототипе после сдачи тренажеров в эксплуатацию.

Приведение пультов ПМТ в соответствие блоку прототипу

Результатом выполнения работ по данному направлению является проведение технических мероприятий по модернизации панелей и приборов имитаторов пультов ПМТ для их приведения в соответствие блоку прототипу. Проведено планирование работ и закупка дополнительных изделий, необходимых для проведения доработок имитаторов пультов ПМТ, а затем проведены работы по перемещению или добавлению индикаторов, кнопок и показывающих приборов, подключению их к соответствующим модулям WAGO системы ввода-вывода, а также замене надписей на следующих лицевых панелях:

1. Имитаторы пультов РУ-ПТУ1, РУ-ПТУ2. Панель БП2.
2. Имитаторы пультов РУ-ПТУ1, РУ-ПТУ2. Панель БП3.
3. Имитаторы пультов РУ-ПТУ1, РУ-ПТУ2. Панель БП4.
4. Имитаторы пультов РУ-ПТУ1, РУ-ПТУ2. Панель БН3.
5. Имитаторы пультов РУ-ПТУ1, РУ-ПТУ2. Панель БН4.
6. Имитаторы пультов ПАР1, ПАР2. Панель БП.
7. Имитатор пульта ПАР2. Панель БН.

Из панелей БН3,4 извлечены панельные станции и установлены вновь изготовленные лицевые панели.

Модернизация технических средств с специального ПО вычислительного комплекса тренажеров

В рамках модернизации технических средств вычислительного комплекса проведены следующие работы:

1. Установка 2-х экранов коллективного пользования (дисплей 43” 4K HDR, станция рабочая Vostro 3681-9870 Dell, кронштейн потолочный).
2. Установка 4-х панельных станций Advantech TPC-1551H-E3AE с блоками питания и накопителями SSD.
3. Замена 23-х пультовых ПЭВМ на рабочие станции Vostro 3681-9870 Dell.
4. Замена 2-х серверов на HP Proliant DL360.
5. Установка 8-ми IP-камер с микрофонами.

Новые пультовые ПЭВМ (бездисковые рабочие станции) работают под управлением ОС

Linux, в отличие от предыдущей версии ПМТ. Это сократило издержки Заказчика на закупку и сопровождение лицензий ОС Windows и в несколько раз уменьшило время загрузки ПО тренажера при включении и перезагрузках за счет централизованной загрузки ПО бездисковых рабочих станций с сервера.

В рамках модернизации технических средств, входящих в состав имитаторов пультов, разработано, инсталлировано и протестировано программное обеспечение для вывода видеокадров на 4 панельные станции (Advantech TPC-1551H-E3AE), предназначенные для имитации управления энергоблоком в аварийных ситуациях с панелей типа Magelis.

Проведение испытаний и ввод тренажеров в эксплуатацию

По результатам работ по модернизации программного обеспечения, имитаторов пультов управления и вычислительной системы тренажеров выполнена корректировка конструкторской и эксплуатационной документации на ПМТ и АТ.

Модернизированные тренажеры успешно выдержали комплексные и приемо-сдаточные испытания на территории УТП Дирекции ПАТЭС, которые проводились в соответствии с разработанными Исполнителем и согласованными Заказчиком программами испытаний, в результате чего заслужили высокую оценку инструкторско-преподавательского состава и экспертов Заказчика [4] и были приняты в эксплуатацию.

Список литературы

1. «Выполнение работ по модернизации ПМТ-20870М и АТ-20870М ПАТЭС (приведение в соответствие блоку прототипу ПЭБ проекта 20870 после ввода в эксплуатацию)». Верификационный отчет. Инв. № Д-10060, 2022.
2. ПНАЭ Г-5-40-97. «Требования к полномасштабным тренажерам для подготовки операторов блочного пункта управления атомной станции».
3. СТО 1.1.1.01.004.0680-2006. «Технические средства обучения». АО «Концерн «Росэнергоатом».
4. Акт приемо-сдаточных испытаний ПМТ-20870М и АТ-20870М ПАТЭС на базе ПЭБ проекта 20870 от 04.08.2022.

2.4 Автоматизированная система учёта метрологического оборудования «Метроном»

А.Ю. Волков, Д.А. Стельмашук

Без автоматизированных систем метрологического учёта оборудования в настоящее время невозможно представить работу даже небольшого предприятия, не говоря уже о такой крупной организации как ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова. В течение 2021–2022 годов на предприятии была выполнена разработка и внедрение автоматизированной системы метрологического учёта метрологического оборудования «Метроном».

До 2022 года учёт средств измерений (СИ) основывался на картотеке бумажных учётных карточек СИ, метрологических паспортов и настольной базе данных (БД) Microsoft Access.

Работа в этих условиях с каждым годом все более ограничивала возможности формирования оперативной отчётности, масштабирования и разграничения доступа к информации. В подразделениях института для учёта собственных СИ велись электронные перечни (Excel) и БД, которые дублировали информацию в БД метрологической службы (МС). До момента внедрения нового ПО со старой системой учёта работало пять сотрудников МС.

В июле 2021 года был выпущен приказ генерального директора института об открытии проекта, а уже в октябре 2022 года – приказ о внедрении на предприятии автоматизированной системы. Реализованный проект занял первое место в конкурсе инженерных работ института за 2022 год. По состоянию на март 2023 года в ПО «Метроном» работает около 180 человек.

Общее представление о назначении и функциях

Программное обеспечение (ПО) «Метроном» предназначено для автоматизации работы метрологической службы (МС) предприятия и обеспечивает выполнение следующих задач:

- ведение базы данных (БД) «Метроном» с обработкой, передачей и сохранением информации в многопользовательском режиме работы;
- метрологический учёт различных категорий оборудования;
- ведение электронного метрологического паспорта (МП);
- формирование и термотрансферная (стойкая к стиранию) печать идентификаторов оборудования в виде штрих-кодов на специальных самоклеящихся наклейках;
- работа с перечнями и отчётами метрологического оборудования;
- составление и ведение планов работ;
- формирование отчётов главного метролога по составу метрологического оборудования;
- формирование выгрузки данных о выполненных работах по поверке СИ в Федеральный информационный фонд Госкорпорации Росатом;
- ведение журналов МС для обеспечения внутреннего документооборота МС;
- ведение справочной информации;
- обеспечение задач метрологического надзора с помощью терминала сбора данных (ТСД);
- администрирование учётных записей пользователей и их полномочий.

Конфигурация и состав системы

В состав ПО «Метроном» входит несколько серверов виртуальных машин (ВМ), реализующих набор информационных сервисов и модулей (см. рисунок1):

- сервер системы управления базой данных;
- основная БД метрологического оборудования и БД вспомогательных модулей (журналы МС, миграции и преобразования данных из старой БД Access, сервисов печати);
- веб-сервер с ПО, реализующий веб-интерфейс «Метроном» для пользователей;
- сервер печатных форм;
- клиент-серверный модуль формирования и печати «Метрологического паспорта» с модулем интеграции с термотрансферным принтером и сканерами штрих-кодов;
- ТСД EDA61K с мобильным приложением на ОС Android с автономной БД для обеспечения задач метрологического надзора в подразделениях без связи с основной БД «Метроном»;

– клиент-серверный модуль интеграции и синхронизации основной БД «Метроном» с ПО автономной БД ТСД EDA61K;
– персональные проводные и беспроводные сканеры штрих-кодов;
– персональные и сетевые термотрансферные принтеры TSC для этикеток штрих-кодов;
– сетевые термопринтеры Zebra для самоклеящихся бирок.

Рисунок 1 – Структурная схема автоматизированной системы «Метроном»

В настоящее время ПО «Метроном» обеспечивает учёт более 16 тыс. единиц метрологического оборудования всех подразделений предприятия. В БД хранится информация о более чем 100 тыс. работ метрологического обслуживания (МО), выполненных в течение жизненного цикла метрологического оборудования. Реализованные функции ПО «Метроном» позволили консолидировать в едином источнике данных актуальную информацию о всех аспектах текущего состояния и жизненного цикла метрологического оборудования всех подразделений предприятия.

Новизна и эффективность

Был осуществлен полный цикл разработки учётной информационной системы (ИС), предоставляющей широкому кругу пользователей доступ через веб-интерфейс, и включающий в себя: создание ВМ серверов, настройку системного ПО ВМ в единый рабочий комплекс, разработку структур данных для БД, миграцию данных из имеющихся БД Access, разработку экранных форм веб-страниц, разработку печатных форм, процедуры выгрузки данных в разные форматы, интеграцию с периферийным оборудованием, разработку мобильного приложения ТСД для ОС Android.

Доступ к БД «Метроном» через веб-интерфейс позволяет открыть его с любого ПК, подключенного к локальной сети. При этом нет необходимости выполнять предварительную установку и настройку ПО на ПК пользователя, что существенно облегчает как вовлечение сотрудников в работу, так и сопровождение информационной системы.

Система разделения прав доступа и области видимости данных в БД позволяет администратору предоставлять пользователям только тот набор функций и информации из БД, который соответствует их роли и области видимости данных, исходя из организационной структуры предприятия, специфики работы с оборудованием по видам измерений.

В данном проекте реализован процесс учёта оборудования с использованием штрих-кодов. Выполнены работы по интеграции в информационную систему термотрансферных принтеров этикеток штрих-кодов и сканеров штрих-кодов. Также разработано мобильное приложение для ТСД EDA61K, работающее на ОС Android, с учётом режимных ограничений и возможностью автономной работы и синхронизации данных с основной БД «Метроном».

Обеспечивается работа с QR-кодами записей, полученных из профильных федеральных информационных систем для независимого контроля и подтверждения состояния метрологического оборудования.

Система «Метроном» показала высокую эффективность обработки и представления данных. В настоящее время система «Метроном» позволяет исключить двойную работу, дублирование и противоречивость информации. Это обеспечивается введением электронного метрологического паспорта.

Введение технологического процесса маркировки и учёта метрологического оборудования на базе штрих-кодов позволяет быстро и точно найти необходимый электронный паспорт, создать накладную, определить текущее состояние оборудования с помощью ручного сканера штрих-кодов или ТСД. Это повышает эффективность работы сотрудников, уменьшает время обработки данных, снижает вероятность ошибки ввода данных и неверную идентификацию оборудования.

Автоматизация процедуры приема и выдачи метрологического оборудования в/из обслуживания в МС с помощью накладных, формируемых на основании штрих-кодов, позволило существенно уменьшить время обработки и исключить спорные моменты о комплектации переданного или выданного оборудования.

Возможность пользователям видеть текущее состояние своего оборудования, переданного в обслуживание в МС («принят», «в работе», «годен/не годен», «ремонт», «готов к выдаче»), значительно снижает количество звонков от сотрудников подразделений в МС. Это позволяет не прерывать рабочий процесс сотрудников МС для ответов на многочисленные запросы о готовности оборудования.

Принтер этикеток штрих-кодов

Практическая значимость

Помимо всего перечисленного внедрение ПО «Метроном» дополнительно решило в институте критически значимую, важную задачу: отслеживание руководителями, ответственными, владельцами и метрологами в реальном времени не поверенного оборудования. Раньше состояние оборудование отслеживалось путём анализа квартального графика в конце квартала, то есть СИ могло эксплуатироваться не поверенным целый квартал.

На новый уровень вышла процедура метрологического надзора. Использование ТСД во время метрологического надзора позволяет мгновенно получить сведения о метрологическом оборудовании непосредственно из ПО «Метроном» (исключена возможность утраты или подделки поверительного клейма или бирки о статусе) и принять решение о законности или незаконности его применения.

ТСД и СИ при метрологическом надзоре

Экономическая эффективность

Цифровизация плановых и отчётных документов даёт реальный экономический эффект за счёт высокой автоматизации большинства рутинных функций сотрудников МС.

Например, для ежегодно составляемых графиков и планов работ МО требуется распечатка документов объёмом более 800 листов формата А4 для МС и предоставление копий для каждого подразделения-владельцев СИ. Затем по этим распечатанным документам выполняется вручную поиск, составление и печать квартальных графиков, а по ним выписок из план-графиков работ для заинтересованных лиц (сотрудники МС, подразделений владельцев СИ, экономисты). Также в задачу МС входит печать свидетельств, сертификатов, аттестатов о выполненных работах (ежегодно более 7500 экземпляров). Переход к электронному формированию графиков и планов работ, сертификатов позволит сэкономить ресурс орг. техники предприятия, затраты на расходные материалы и самый главный ресурс – время.

Оперативное формирование комплексных отчётов о метрологическом оборудовании предприятия, представленных в разделе «Отчёты главного метролога», позволяют сэкономить время, а значит и деньги. Так ранее составление отчёта РТМ «Сведения о парке СИ»

требовало несколько недель совместной работы сотрудников МС над бумажной картотекой. Теперь он формируется автоматически за несколько секунд.

Своевременное и оперативное получение информации о наличии в эксплуатации не поверенного оборудования во время проведения испытаний экономически оценить невозможно. Однако, в случае выявления нарушений данного факта после проведения испытаний, их результаты могут быть поставлены под сомнения и возникнет необходимость в их повторном проведении. ПО «Метроном» исключает ситуацию неосведомлённости исполнителем работ о состоянии применяемого им метрологического оборудования. Для этого реализован интуитивно понятный элемент интерфейса «светофор» (🟢🟡🔴), отображающий текущее состояние всего парка метрологического оборудования сигнальными цветами.

Разработанное ПО в ноябре 2022 года получило свидетельство о государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ.

Созданное ПО «Метроном» является критически важным и своевременным звеном в работе не только метрологической службы, но и остальных подразделений предприятия, в каждом из которых находятся в эксплуатации средства измерения: от аппаратов спектрального анализа до стрелочных настольных весов в столовой. Работа над его совершенствованием будет продолжена, вбирая в себя накопленный опыт и компетенции сотрудников предприятия.

Список литературы

1. ПО «Метроном». Руководство администратора, ЛКВШ 22.205.0000.00 32 от 26.09.2022;
2. ПО «Метроном». Руководство оператора, ЛКВШ 22.205.0000.00 34 от 22.09.2022;
3. Программа метрологический паспорт.
   Руководство оператора, ЛКВШ 22.205.0000.00 34 от 26.09.2022;
4. О государственной регистрации «МЕТРОНОМ» в реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности РФ. Свидетельство № 2022681219 от 10.11.2022.

2.5 Разработка и применение мобильного управляющего комплекса «АЛИССУМ»

С.В. Батраков, Г.Г. Дудников, М.А. Ельшин, В.В. Зарубин, Е.В. Клюева, П.В. Макагон, А.С. Нефедова, Е.С. Патшина, Д.С. Терехов, В.А. Чернего

Система контроля и управления (СКУ) технологическим оборудованием в настоящее время является неотъемленной частью при создании промышленного или энергетического объекта. При этом, СКУ является той составляющей, без которой невозможно не только функционирование сооружения, но и выполнение ряда пуско-наладочных работ (ПНР) технологического оборудования сооружения.

В упрощённом виде СКУ – программно-технический комплекс (ПТК), который сопряжён с технологическим оборудованием посредством вторичных преобразователей и реализует алгоритмы управления (АУ) и контроля технологического оборудования. Создание ПТК СКУ технологического оборудования сооружения сопряжено с большими временными и финансовыми затратами, так как для каждого сооружения СКУ – уникальное изделие. При этом на срок создания ПТК СКУ существенно влияют работы по разработке РКД приборов, закупке комплектующих и изготовлению оборудования СКУ. Отсутствие ПТК СКУ, с одной стороны, задерживает разработку ПО для контроллеров средств автоматизации, реализующих алгоритмы управления ТС, а с другой стороны, не позволяет апробировать проектные решения по сопряжению ПТК СКУ с реальной аппаратурой контроля и управления (датчики, сигнализаторы и исполнительные механизмы).

Разработанный мобильный управляющий комплекс (МУК) [1] предназначен для оперативной реализации СКУ объекта или фрагмента СКУ в объёме множества интерфейсных сигналов приборов, входящих в состав МУК. Оперативность разработки СКУ достигается за счёт отсутствия этапа закупок, полной готовности приборов ПТК и наличия программных средств автоматизации разработки ПО СКУ.

Один комплект МУК имеет фиксированное количество сигналов сопряжения с технологическим оборудованием объекта. Объём интерфейсных сигналов выбран по критерию самой объёмной технологической системы из разрабатываемых в НИТИ систем автоматизации.

В состав МУК «Алиссум» входят [2]:

1. Оборудование офисного исполнения:
   - автоматизированное рабочее место (АРМ);
2. Оборудование промышленного исполнения:
   - приборный шкаф «Алиссум-580» на основе ПЛК Modicon M580 фирмы «Schneider Electric»;
   - приборный шкаф «Алиссум-500» на основе ПЛК Regul R500 отечественного производства АО «Прософт-Системы»;
   - приборный шкаф «Алиссум-СВ» для управления ячейками 6 кВ по сети RS-485;
3. Набор соединительных кабелей:
   - комплект кабелей для подключения к электропитанию и сетевым интерфейсам;
   - комплект кабелей для сопряжения с кроссовыми и сетевыми устройствами.

МУК «Алисум-580» (рисунок 1а) и МУК «Алиссум-500» (рисунок 1б) имеют следующие технические характеристики:

- 48 каналов аналогового ввода (4–20 мА постоянного тока);
- 224 канала дискретного ввода («сухой контакт», 24 В, 0.51 мА постоянного тока);
- 112 каналов дискретного вывода («сухой контакт», 220 В, 50 Гц, 8 А) с возможностью выбора нормально разомкнутого, либо нормально замкнутого контакта;
- линия оптической связи Ethernet FO и 8 линий связи Ethernet Tx.

а) б)

Рисунок 1 – Приборные шкафы МУК «Алиссум-580» (а) и «Алиссум-500» (б)

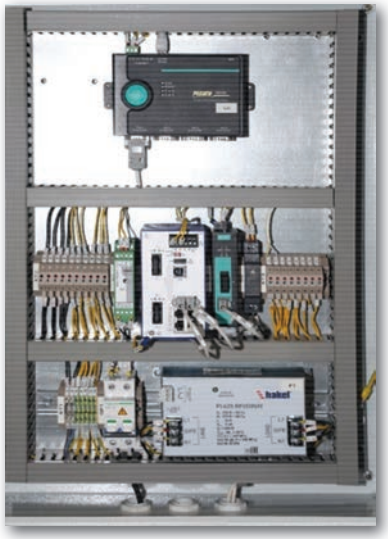


Рисунок 2 – Приборный шкаф МУК «Алиссум-СВ»

МУК «Алиссум-СВ» (рисунок 2) имеет следующие технические характеристики: 4 линии связи RS-485, 7 линий связи Ethernet Tx и одна – Ethernet FO.

Приборные шкафы МУК содержат контроллеры с набором модулей ввода/вывода и оборудование для согласования сигналов с технологическим объектом автоматизации (ТОУ). Входные и выходные интерфейсы приборов реализованы на разъёмах.

На АРМ МУК, выполненном на базе персонального компьютера, установлено следующее инструментальное программное обеспечение (ПО):

- Unity Pro XL V13.1 для работы с ПЛК Modicon M580;
- Epsilon LD 64 для работы с ПЛК Regul R500;
- SCADA InTouch 2014R2, SCADA Альфа платформа, OPC Factory Suite, Regul OPC DA Server, шлюз FSGateway для разработки человеко-машинного интерфейса (ЧМИ), обеспечивающий контроль и управление технологическим оборудованием в составе ТОУ.

Инструментальное ПО АРМ МУК позволяет создавать алгоритмы управления на стандартных языках МЭК 61131 для контроллеров Modicon M580 и Regul R500. С помощью SCADA пакетов разрабатываются ЧМИ, которые выполняются на АРМ МУК, превращая его в прототип пульта контроля и управления СКУ. В арсенале стандартных функций ЧМИ включаются мнемосхемы ТОУ, обеспечивающие динамическое отображение информации о состоянии процессов, формировании сигнализации и управление оборудованием ТОУ. С целью ретроспективного анализа процессов ТОУ может осуществляться регистрация событий и трендов аналоговых параметров. Примеры ЧМИ АРМ МУК приведены на рисунках 3–5.

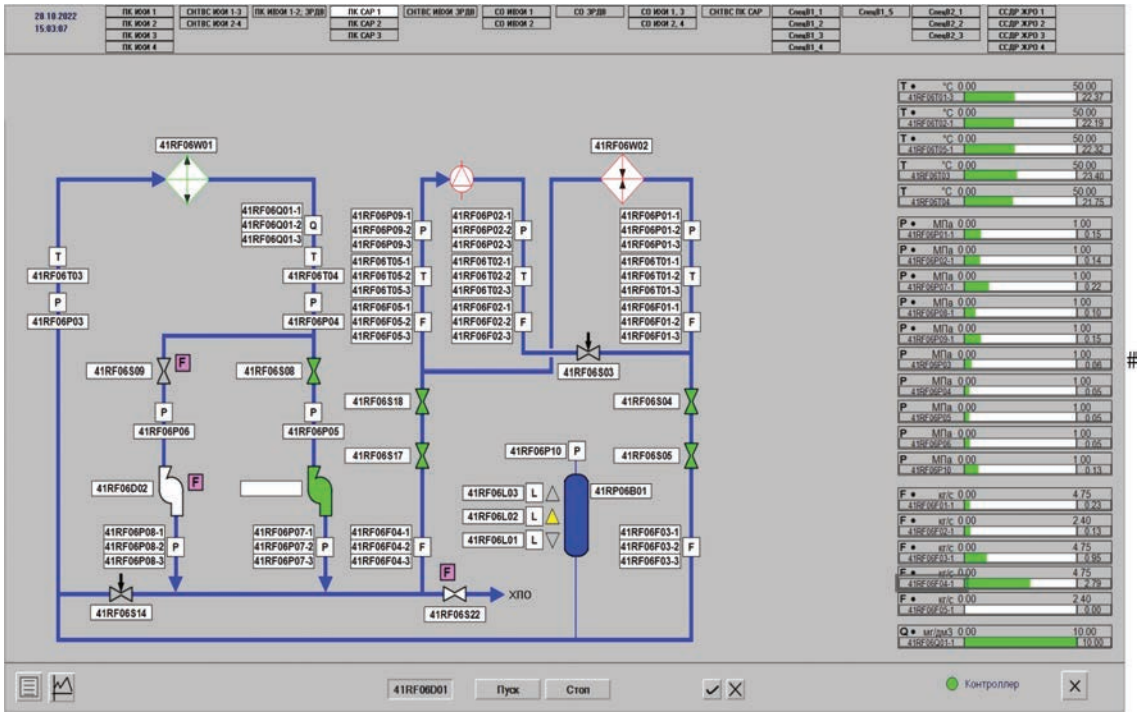


Рисунок 3 – Пример ЧМИ АРМ МУК

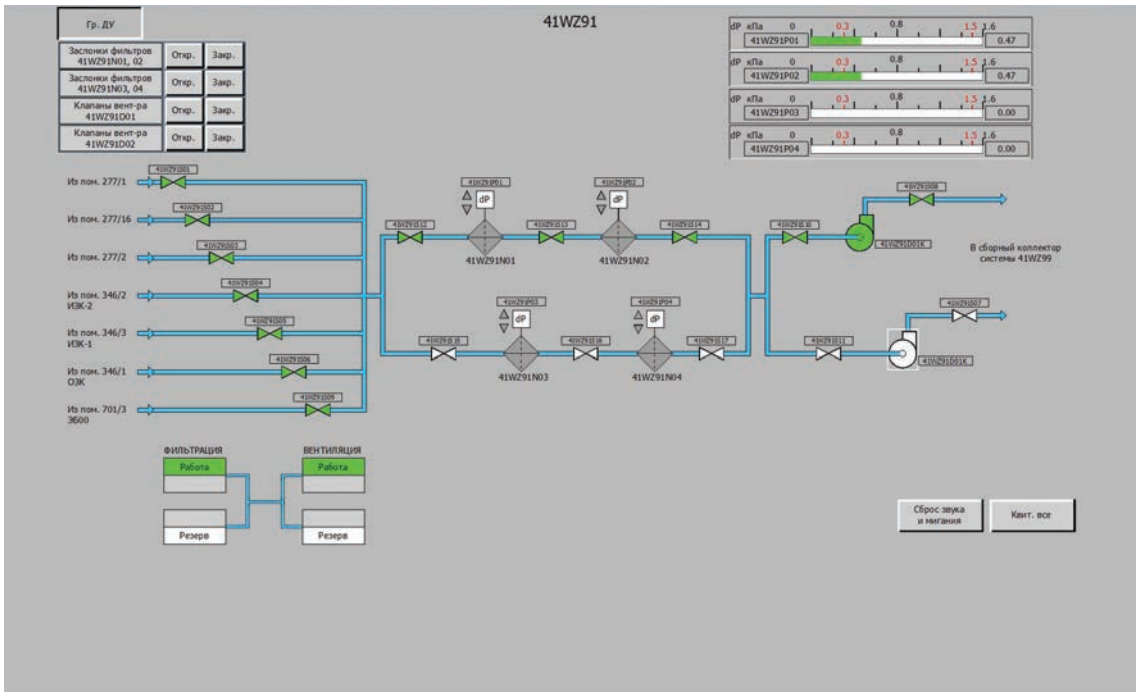


Рисунок 4 – Пример ЧМИ АРМ МУК

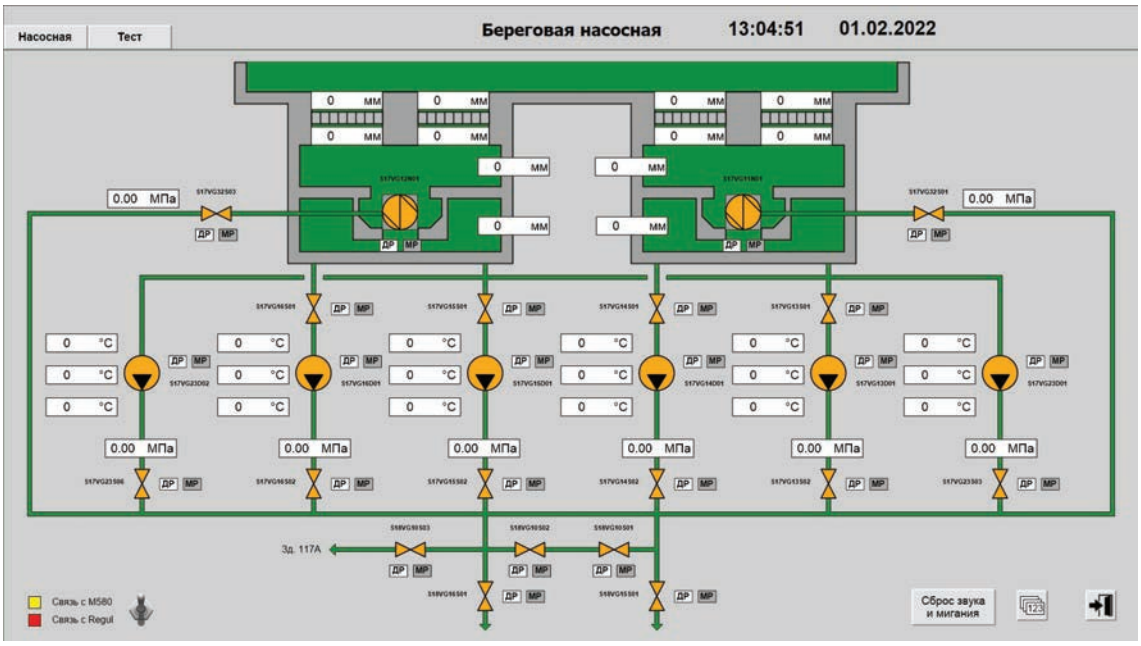


Рисунок 5 – Пример ЧМИ АРМ МУК

Типы сигналов сопряжения МУК с ТОУ выбраны на основе анализа интерфейсов средств автоматизации технологического оборудования, которые имеют тенденцию к унификации сигналов сопряжения со СКУ. Состав ПО соответствует типам используемых в приборах МУК контроллеров и SCADA систем, которые используются в НИТИ для разработки СКУ.

Созданный МУК – это переход от проектирования ПТК СКУ из модулей универсальных ПТС, на основе которых созданы приборы МУК (Regul R500 производства АО «Прософт Системы», Modicon M580 производства фирмы «Schneider Electric»), к проектированию ПТК СКУ на основе унифицированных приборов [3].

Технология разработки ПО ПТК СКУ на основе МУК сводится к реализации следующих процедур:

- разработка алгоритмов управления по исходным данным проекта средствами САПР контроллеров МУК;
- разработка ЧМИ по техническому заданию технолога;
- реализация ЧМИ средствами SCADA системы;
- сопряжение МУК с расчётно-моделирующий комплексом (РМК), выполняющим функции имитатора ТОУ, через задатчик электрических сигналов в соответствии со схемой подключения ПТК СКУ к аппаратуре ТС объекта автоматизации;
- отладка ПО ПТК СКУ на МУК, сопряжённом с РМК.

Отлаженное ПО разработанной СКУ (или фрагмента СКУ) хранится на АРМ МУК в виде двух проектов: ПО соответствующего контроллера МУК и проект ЧМИ. Для разворачивания ПТК СКУ на объекте выполняется загрузка ПО для контроллера и запуск приложения, реализующего ЧМИ. Структурная схема ПТК МУК, подключённого к объекту автоматизации, приведена на рисунке 6.

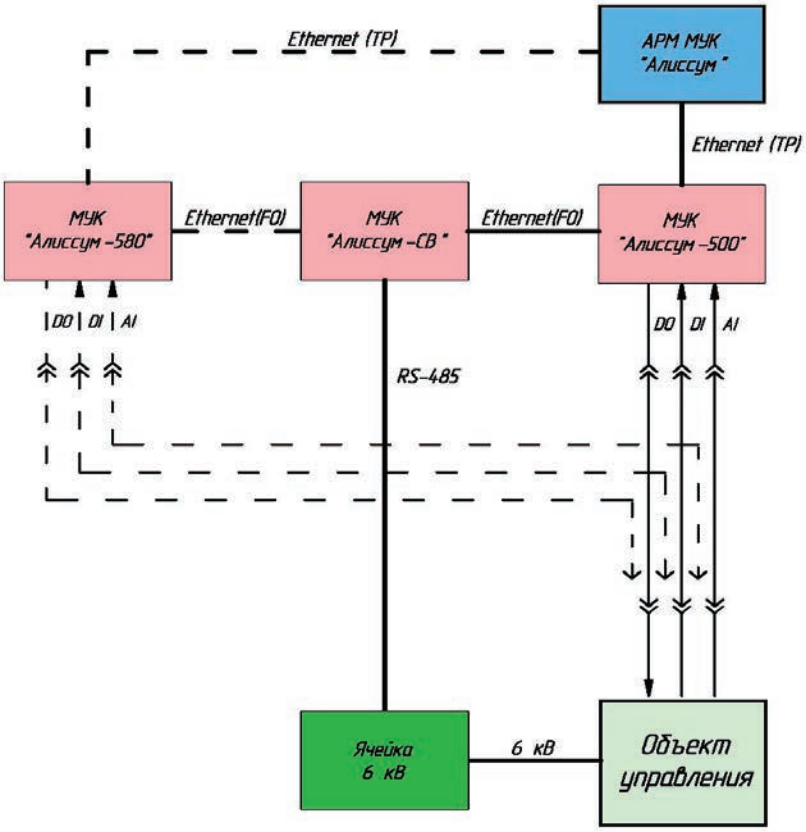


Рисунок 6 – Структурная схема подключения МУК «Алиссум» к объекту управления

В тех случаях, когда количество сигналов одного прибора МУК недостаточно для контроля и управления объектом автоматизации, предусмотрена возможность установки нескольких приборов МУК и объединения их в локальную вычислительную сеть.

В рамках разработки МУК выпущены комплекты конструкторской и рабочей документации.

Оригинальность выполненной работы состоит в том, что МУК является инструментом разработки ПТК СКУ под различные задачи:

1. В январе 2022 года успешно завершено опробование технологических систем (ТС) спецвентиляции комплекса защитных камер КЗК [4].
2. В апреле 2022 года проведены проверка и отработка программ комплексного опробования (КО) ТС испытательного комплекса (ИК) «РЕСУРС» с использованием ПТК «МУК-РМК «РЕСУРС» на полигоне ГК [5]. В рамках этой работы разработаны рабочие программы КО технологического оборудования ИК, на основании которых в срочном порядке были разработаны алгоритмы управления и ЧМИ для МУК (порядка 30 видеокадров).
3. В ноябре 2022 года в соответствии с Графиком выполнения ПНР на объекте ИК «РЕСУРС» с использованием МУК [6] без замечаний проведено КО ТС стенда «РЕСУРС» в режиме дистанционного управления с использованием МУК [7]. По итогам выполненных работ оформлены 30 протоколов комплексного опробования ТС ИК «РЕСУРС» средствами МУК «Алиссум-580», включенных в акты КО по каждой системе в качестве обязательных приложений. Файлы регистраций и видеокадры МУК сохранены в электронном виде.

4. В соответствии с приказом и.о. генерального директора [8] ИК «РЕСУРС» введен во временную эксплуатацию.
5. В настоящее время МУК задействован в работах по комплексному опробованию ТС стенда КМ-1. Ведется разработка и отладка ПО системы управления на основе МУК «Алиссум-500».

Процесс применения МУК на объектах автоматизации состоит из компонент интеллектуальной деятельности специалистов нескольких функциональных подразделений ОДИ: разработка ЧМИ и алгоритмов управления системы, подключения аппаратуры технологических систем/системы к прибору МУК. При этом за счёт использования готового ПТК существенно сокращаются сроки разработки и выполнения работ на объекте автоматизации.

Таким образом, созданный ПТК МУК является важным звеном в разработке перспективных СКУ, обеспечивая выполнение следующих этапов их создания:

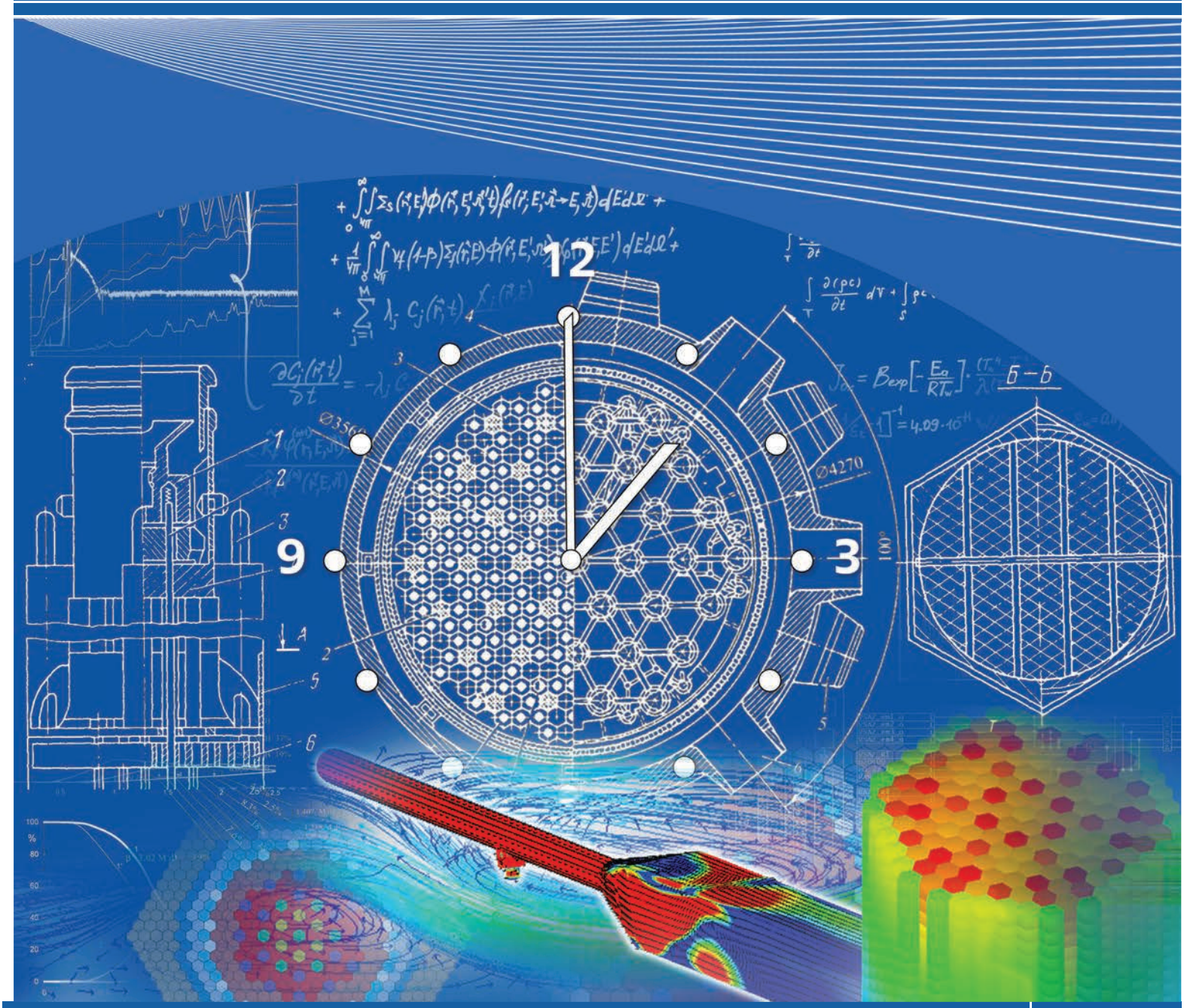
- разработку ПО небольших СКУ или её фрагментов;
- отладку АУ и контроля разрабатываемых СКУ непосредственно на контроллере уровня автоматизации ПТК СКУ с использованием РМК;
- апробирование АУ и контроля СКУ при взаимодействии с реальным технологическим оборудованием.

Одновременно с созданием МУК решена задача апробации ПТС российского производства в рамках программы импортозамещения. Положительный опыт использования отечественных ПТС Regul R500 и SCADA Альфа платформа в МУК, а также заключение об идентичности технических характеристик серий Regul R500 и Modicon M580, подтвердил правильность выбора импортозамещающих ПТС в НИТИ.

Список литературы

1. Акт № 04-21/580 от 27.11.2020 «Приёмочных испытаний мобильного управляющего комплекса (МУК) «Алиссум» ЛКВШ 19.200.0000.00, зав. № 1173-04-20».
2. Акт технической готовности объекта ОС № 04-21/618 от 23.12.2020 по ШПЗ 16/19 ПРОЧ «Создание мобильного управляющего комплекса (МУК)».
3. Мобильный управляющий комплекс «Алиссум». Сборник материалов XV научно-технической конференции молодых специалистов Росатома «Высокие технологии атомной отрасли в инновационном процессе» 2021. Секция 1. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. С. 38–42.
4. Акт № 04-10/12 от 27.01.2022 «О проверке функционирования технологических систем спецвентиляции КЗК в режиме дистанционного управления с использованием МУК».
5. Акт №04-14/89 от 28.04.2022 «О проведении проверки и отработки программ комплексного опробования ТС ИК «РЕСУРС» с использованием программно-технического комплекса «МУК-РМК «РЕСУРС» на полигоне ГК».
6. График выполнения ПНР на объекте ИК «РЕСУРС» с использованием МУК №1221.22.2146 Гр от 25.10.2022.
7. Акт №1205.22.2630А от 30.11.2022 «Приемки испытательного комплекса «РЕСУРС» после комплексного опробования».
8. Приказ и.о. генерального директора № 23/32-П от 18.01.2023 «О вводе испытательного комплекса «РЕСУРС» во временную эксплуатацию».

3



3. Нейтронно-физические и теплофизические исследования

НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Д.Н. Жуковский

В 2022 году деятельность отдела нейтронно-физических исследований (ОНФИ) была направлена на совершенствование расчётных и экспериментальных методов и средств, предназначенных для обеспечения нейтронно-физических исследований ядерных реакторов.

В рамках модернизации программы САПФИР_РФ и в связи с планируемым расширением области её применения для РУ с быстрым и промежуточным спектром нейтронов разработана быстродействующая автоматизированная система подготовки библиотек ядерных данных. Разработанная система подготовки данных позволяет:

- создавать рабочие библиотеки для программы САПФИР_РФ на основе детальных ядерных данных отечественной оценки РОСФОНД и международной ENDF/B-VIII;
- достичь значительной экономии времени на подготовку библиотек за счет параллельной обработки данных для различных изотопов, а также повысить удобство задания исходных данных.

В 2022 году специалистами ОНФИ завершены работы по созданию мобильного линейного-импульсно-токового измерителя «ЛИМИТ». Результатом успешно проведенных испытаний стало включение указанного прибора в государственный реестр средств измерения. Новизна технических идей и решений, высокий уровень разработки и качества изготовления измерителя «ЛИМИТ» позволяют рассчитывать на потенциальную востребованность прибора в атомной отрасли.

Продолжены работы по технической поддержке эксплуатации программных средств семейства САПФИР&RC в проектно-конструкторских организациях, включая проведение семинаров по обучению пользователей.

3.1 Модернизация программ подготовки ядерно-физических данных для программы САПФИР_РФ

Б.К. Макаров, А.Н. Кузнецов

На протяжении многих лет отдел нейтронно-физических исследований НИТИ развивает программы семейства САПФИР [1, 2], предназначенные для расчёта переноса нейтронов в ядерном реакторе методом вероятностей первого столкновения. При этом используются рабочие групповые библиотеки, подготовленные из файлов оцененных ядерных данных (в частности из файлов современной отечественной библиотеки РОСФОНД [3, 4] для программы САПФИР_РФ [5]). В состав рабочих библиотек входят данные о нейтронных сечениях для области термализации нейтронов, резонансной области, области быстрых нейтронов, параметры кинетики нейтронов, схемы выгорания топлива и конструкционных материалов.

Исторически программы семейства САПФИР были нацелены в первую очередь на расчёт реакторов с тепловым спектром нейтронов. Рабочая библиотека для тепловых реакторов может быть подготовлена при использовании усреднённого априорного нейтронного спектра (он используется в качестве весовой функции при усреднении всех параметров), характерного для широкого класса тепловых реакторов. При расчёте быстрых и промежуточных реакторов уже на этапе вычисления групповых характеристик необходимо знать внутригрупповой спектр плотности потока нейтронов, характерный именно для данного реактора.

В связи с планируемым расширением области применения программы САПФИР_РФ возникла необходимость в быстродействующей и полностью автоматизированной системе подготовки библиотек под конкретную реакторную установку.

Внедрение новых возможностей в уже существующие программы подготовки рабочих библиотек на языке FORTRAN [6, 7] оказалось нецелесообразным, поэтому было принято решение написать новые программы подготовки основной библиотеки и библиотеки выгорания на языке Python3, попутно совершенствуя алгоритмы подготовки библиотек из файлов оцененных ядерных данных, где это возможно.

Для того чтобы облегчить дальнейшую поддержку программ, при разработке применялась система контроля версий, разработана документация к ним [8, 9], исходный код был подробно прокомментирован.

Для получения групповых характеристик используется NJOY [10] – программа с открытым исходным кодом, предназначенная для обработки детальных ядерных данных.

Модернизированная система подготовки констант позволила:

- на основе детальных ядерных данных отечественной оценки РОСФОНД и международной ENDF/B-VIII создавать рабочие библиотеки для программы САПФИР_РФ;
- за счет параллельной обработки данных для различных изотопов достичь значительной экономии времени на подготовку библиотек;
- значительно улучшить удобство задания исходных данных (с помощью одного конфигурационного файла в стандартном init формате) для формирования библиотек.

Программа САПФИР_РФ в настоящее время готовится к аттестации в НТЦ ЯРБ Ростехнадзора.

Программа подготовки библиотеки выгорания

Цель программы подготовки выгорания — составить библиотеку, описывающую цепочки переходов осколков деления друг в друга в результате распадов и ядерных реакций и содержащую сечения взаимодействия этих осколков.

Считается, что учитывать все осколки деления нерационально, поэтому полная схема «сворачивается». Таким образом, из схемы переходов исключаются осколки, имеющие малый выход в результате деления или малое время жизни, а вместо них напрямую появляются их дочерние продукты.

Наибольшую сложность в этой программе представляют чисто технические детали: чтение и запись данных в специализированных форматах, предоставление удобного для пользователя интерфейса выбора критериев свёртки, и т. п.

Программные модули системы подготовки позволяют визуализировать цепочки распадов и взаимодействовать с уже созданными библиотеками, тем самым позволяя не только создавать новые библиотеки, но и корректировать ранее созданные.

Программа подготовки основной библиотеки

Цель программы подготовки основной библиотеки — составить библиотеку, содержащую групповые сечения взаимодействия, подгрупповые характеристики резонансных изотопов, матрицы рассеяния и замедления и т.п. при разных температурах для наиболее важных изотопов.

САПФИР – одна из немногих программ, использующих обобщенный подгрупповой подход. Он позволяет с высокой точностью рассчитывать резонансное поглощение, однако подготовка исходных данных для такого расчёта довольно сложна. Основные усилия при написании программы были сосредоточены именно на корректной реализации алгоритмов подготовки обобщенных подгрупповых характеристик.

Выводы

Для программы САПФИР_РФ кардинально модернизирована система подготовки нейтронных данных — групповых сечений, подгрупповых параметров, схем выгорания и параметров кинетики. Для программ системы подготовки нейтронных данных описаны алгоритмы работы и подготовлены инструкции пользователя. Таким образом, программы системы приведены к отчуждаемой форме.

Список литературы

1. Программное средство САПФИР_95.1: аттестационный паспорт программного средства № 390 от 16.12.15. – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2015.
2. САПФИР_РФ: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663185.
3. РОСФОНД – российская национальная библиотека оцененных ядерных данных / С.В. Забродская, А.В. Игнатюк, В.Н. Кощеев, В.Н. Манохин, М.Н. Николаев, В.Г. Проняев // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерные константы. – 2007. – Вып. 1–2. – С. 3–21.
4. Энциклопедия нейтронных данных РОСФОНД. Полный пакет обоснования отбора оценок / ФГУП ГНЦ РФ Физико-энергетический институт. – Обнинск, 2006.

5. Программа САПФИР_РФ: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015663185. Дата регистрации в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности 14.12.2015.
6. *Иванов А.С.* Модернизация нейтронных библиотек и программы САПФИР_95, предназначенной для расчёта ячеек реактора / Иванов А.С., Карпов А.С. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2018. – Вып. 1. – С. 27–34.
7. *Карпов А.С.* Модернизация схемы выгорания топлива в программе САПФИР_95 // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ: научно-технический сборник. - Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». – 2015. - № 1 (1). – С. 62– 68.
8. Программа подготовки библиотеки выгорания для РК САПФИР: инструкция пользователя. Уч. № 258/10-00/22. – Сосновый Бор: НИТИ, 2022.
9. Программа подготовки библиотек ядерных данных для РК САПФИР: инструкция пользователя. Уч. №259/10-00/22. – Сосновый Бор: НИТИ, 2022.
10. The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 2016; R.E. MacFarlane.

3.2 Многофункциональный измеритель линейный импульсно-токовый мобильный (переносной) «ЛИМИТ»

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

Многолетний опыт эксплуатации ядерных энергетических установок (ЯЭУ) стендов-прототипов ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (далее – НИТИ) подтверждает необходимость использования дополнительных каналов контроля плотности потока нейтронов (ППН) и вычисления реактивности при проведении потенциально-опасных работ (включая проведение физических пусков реакторных установок (РУ) и перегрузок активных зон). Дополнительные каналы контроля ППН, например, нештатные каналы контроля ППН и каналы научных исследований, обладая большей чувствительностью играют ключевую роль при измерениях нейтронно-физических характеристик (НФХ) РУ, изменяющихся в процессе эксплуатации реактора.

За более чем тридцать лет существования в составе ОНФИ лаборатории экспериментальных физических исследований накоплен значительный опыт по разработке аппаратуры контроля ППН, в частности, разработана оригинальная архитектура построения аппаратуры на основе магистрально-модульного принципа и принципа разделения измерительной и вычислительной составных частей. Первым измерительным прибором для работы в составе каналов контроля ППН стал линейный импульсно-токовый измеритель «ФАВОРИТ», разработанный на основе вышеуказанного подхода силами специалистов НИТИ и внесенный в государственный реестр средств измерения. С 2022 года измеритель «ФАВОРИТ» после его апробации в период с 2016 по 2020 г.г., на стендовых установках института, полноценно используется в составе одного из дополнительных каналов контроля ППН на критическом стенде НИТИ.

На основе успешного опыта разработки измерителя «ФАВОРИТ», а также имеющихся и приобретенных компетенций, была сформулирована новая задача по разработке мобильного

прибора нейтронно-физического контроля для применения его на объектах использования атомной энергии, в том числе, вне пределов НИТИ. В 2021 году генеральным директором института было утверждено техническое задание на разработку и создание линейного широкодиапазонного импульсно-токового мобильного (переносного) измерителя сигналов с импульсно-токовых камер деления «ЛИМИТ» (далее – Измеритель).

Описание измерителя «ЛИМИТ»

Изделие «ЛИМИТ» представляет собой многофункциональный, широкодиапазонный измеритель выходных электрических сигналов от счетчиков нейтронов типа СНМ, токовых и импульсно-токовых ионизационных камер деления и предназначен для измерения текущего значения силы постоянного электрического тока, скорости счета импульсов тока и счета числа импульсов тока в течение заданного интервала времени.

Внешний вид Измерителя (полная комплектация)

Измеритель предназначен для работы в составе каналов контроля ППН энергоблоков АЭС, ЯЭУ транспортного назначения и критических стендов, а также в составе мобильных диагностических комплексов оборудования ЯЭУ, в системах контроля герметичности оболочек твэлов, в составе аппаратуры, применяемой при изготовлении изотопных источников нейтронов.

Для обеспечения возможности быстрой адаптации Измерителя для работы с широкой номенклатурой детекторов нейтронов, применяемых в составе каналов контроля ППН активных зон реакторных установок различного типа, реализации высоких технических характеристик Измерителя, были разработаны, запатентованы и внедрены новые алгоритмы обработки сигналов детекторов [1] и методики его настройки [2, 3].

Измеритель обеспечивает четыре режима работы:

- токовый (режим измерений силы постоянного электрического тока);
- импульсный (режим измерений скорости счета импульсов тока);
- импульсно-токовый (режим автоматического переключения с импульсного режима на токовый и обратно);

– счет числа импульсов (режим счета числа импульсов тока отрицательной полярности в течение заданного интервала времени).

Преобразование измеряемых величин и обработка данных выполняется с использованием встроенного программного обеспечения (ПО) и внешнего специального программного обеспечения «ЛИМИТ» (СПО «ЛИМИТ»), установленного на ПЭВМ. Уровень защиты ПО – «высокий» в соответствии с Р 50.2.077-2014.

Показания Измерителя выводятся на цифровой индикатор. Кроме этого, Измеритель обеспечивает передачу информации, регистрацию и визуализацию данных во внешнем СПО «ЛИМИТ» на ПЭВМ по линии связи в стандартах RS 232, Ethernet и интерфейсу USB 2.0.

Измеритель осуществляет непрерывный контроль собственной исправности, а также контроль источников питания.

Для обеспечения многофункциональности предусмотрены три различных варианта поставки Измерителя, а также, упомянутые выше, встроенное ПО и СПО «ЛИМИТ».

Варианты поставки:

– полная комплектация для работы в токовом, импульсном, импульсно-токовом режимах и в режиме счета числа импульсов тока;
– комплектация для работы в токовом, импульсном, импульсно-токовом режимах;
– комплектация для работы в режиме счета числа импульсов тока.

Специально разработанное СПО «ЛИМИТ» реализует две различные программные оболочки для режима контроля ППН и режима счета числа импульсов в течение заданного интервала времени и обеспечивает выполнение следующих функций:

– непрерывный автоматизированный опрос измеряемых параметров (скорости счета импульсов тока (интенсивности), силы постоянного тока);
– отображение результатов опроса на мониторе в текстовом и графическом виде (построение графиков зависимости скорости счета импульсов тока или постоянного тока, отображение результатов показаний измерителя);
– вычисление периода удвоения мощности реактора;
– вычисление реактивности;
– измерение числа импульсов тока в течение заданного интервала времени;
– взаимодействие с оператором для управления регистрацией и режимами работы измерителя;
– удаленное управление режимом работы и параметрами фильтрации измерителя;
– сохранение результатов в файл.

При смене модулей для работы в режиме контроля ППН или режиме счета числа импульсов происходит автоматическое переключение как интерфейса управления самого прибора, так и интерфейса программной оболочки СПО «ЛИМИТ».

По своему назначению Измеритель в соответствии с НП-001-15 относится к четвертому классу безопасности, классификационное обозначение – 4Н. Метрологические и технические характеристики Измерителя представлены в Таблице.

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

Таблица

Метрологические и технические характеристики Измерителя

Наименование	Значение
Датчики входного сигнала	Счетчики нейтронов типа СНМ, токовые и импульсно-токовые ионизационные камеры деления
Диапазон измерений скорости счета импульсов тока, имп./с	от 0,1 до $1{,}0 \cdot 10^6$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений скорости счета импульсов тока в поддиапазоне, %, не более от 0,1 до 1,0 имп./с включ. св. 1 до 10 имп./с включ. св. 10 до $1 \cdot 10^3$ имп./с включ. св. $1 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^4$ имп./с включ. св. $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^5$ имп./с включ. св. $1 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^6$ имп./с	 ±20,0 ±10,0 ±5,0 ±2,0 ±1,5 ±1,0
Диапазон измерений числа импульсов тока отрицательной полярности в течение заданного интервала времени от 0,1 до 1000 с, имп.*	от 1 до 10^9
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений числа импульсов тока в течение заданного интервала времени, %, не более	$\pm(0{,}01+k/N_{ср}^{**})$
Диапазон измерений силы постоянного электрического тока, А	от $1 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-3}$
Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений силы постоянного электрического тока в поддиапазоне, %, не более от $1 \cdot 10^{-9}$ до $1 \cdot 10^{-8}$ А включ. св. $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-7}$ А включ. св. $1 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-3}$ А	 ±5,0 ±2,0 ±1,5
Дополнительная погрешность измерений скорости счета импульсов тока, счета числа импульсов и силы постоянного электрического тока при изменении температуры окружающего воздуха на каждые 10 °С в диапазоне рабочих условий эксплуатации не превышает 0,5 от пределов основной погрешности измерений	
Нормальные условия эксплуатации:	
- температура окружающего воздуха, °С	(20±5)
- относительная влажность воздуха, %, не более	60
- атмосферное давление, кПа	(100±4)
Рабочие условия эксплуатации:	
- температура окружающего воздуха, °С	(20±15)
- относительная влажность воздуха, %, не более	75
- атмосферное давление, кПа	(100±4)
Напряжение питающей сети, В	(230±23)
Частота питающей сети, Гц	(50±0,5)
Габаритные размеры (длина, ширина, высота), мм	380x482x260

Наименование	Значение
Средний срок службы, лет	10
* Частота входного импульсного сигнала соответствует диапазону измерений скорости счета импульсов; ** k – коэффициент, равный 5 при n = 20; 10 при n = 10; 20 при n = 5 и 33,3 при n = 3; N_{CP} – среднее значение n результатов измерений в режиме счета числа импульсов в течение заданного интервала времени.	

Заключение

Измеритель «ЛИМИТ» успешно прошел весь необходимый комплекс испытаний в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и внесен в реестр средств измерений (сертификат об утверждении типа средств измерений № 87880-22, Приказ Росстандарта от 28.12.2022 № 3301).

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

СЕРТИФИКАТ
об утверждении типа средств измерений
№ 87880-22

Срок действия утверждения типа до 28 декабря 2027 г.

НАИМЕНОВАНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ ТИПА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
Измерители линейные импульсно-токовые мобильные ЛИМИТ

ИЗГОТОВИТЕЛЬ
Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова"
(ФГУП "НИТИ им. А.П. Александрова"), Ленинградская обл., г. Сосновый Бор

ПРАВООБЛАДАТЕЛЬ
Федеральное государственное унитарное предприятие "Научно-исследовательский технологический институт имени А.П. Александрова"
(ФГУП "НИТИ им. А.П. Александрова"), Ленинградская обл., г. Сосновый Бор

КОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА
ОС

ДОКУМЕНТ НА ПОВЕРКУ
МП МС-22-088

ИНТЕРВАЛ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ 1 год

Тип средств измерений утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 декабря 2022 г. N 3301.

Заместитель Руководителя Е.Р.Лазаренко

«09» марта 2023 г.

Для прибора разработаны необходимые комплекты рабочей конструкторской и эксплуатационной документации. Основные технические решения, заложенные в основу разработки Измерителя, защищены тремя патентами.

Прибор прошел апробацию на критическом стенде НИТИ.

Актуальность разработки, новизна технических идей и решений, высокий уровень разработки и качества изготовления, подтвержденная при апробации эффективность, позволяют уверенно рассчитывать на потенциальную востребованность прибора в атомной отрасли. Универсальность и адаптивность измерителя «ЛИМИТ» позволяет использовать (интегрировать) его также и в качестве составной части в системы диагностирования как на стендах-прототипах ЯЭУ НИТИ, так и на других объектах использования атомной энергии.

Список литературы

1. Способ контроля плотности нейтронного потока. Патент РФ № 2743234 от 16.02.2021.
2. Способ калибровки счетного канала реактиметра. Патент РФ № 2754993 от 08.09.2021.
3. Способ калибровки импульсного канала реактиметра. Патент РФ № 2775730 от 07.07.2022.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.3 Основные результаты научно-технических разработок

А.С. Грицай, В.К. Ефимов, Ю.А. Мигров

В 2022 году, также как и в предыдущие годы, ОТФИ активно участвовал в решении научно-исследовательских задач, возложенных на институт. Значительный объём работ был выполнен по обоснованию технического проекта ППУ стенда КМ-1.

В 2022 году специалистами ОТФИ были выполнены следующие работы:

- усовершенствована специализированная версия системного расчётного кода (РК) КОРСАР/ЖМТ;
- с помощью РК КОРСАР/ЖМТ выполнен цикл расчётных анализов по обоснованию безопасности ЯЭУ в аварийных режимах с течами рабочей среды из второго контура в первый;
- разработан перечень работ по корректировке технического проекта ППУ стенда КМ-1;
- продолжались работы по валидации РК КОРСАР/ЖМТ на основе имеющихся экспериментальных данных, включая результаты испытаний установки КМ-1 (первая кампания);
- осуществлялась адаптация расчётного кода CFD-класса для численного моделирования пространственных процессов в отдельных элементах оборудования ЯЭУ.

Освоение технологий ядерной энергетики с применением тяжелого жидкого металла в настоящее время является весьма актуальным. В целях развития этого направления принято решение о разработке проекта и сооружении в институте электрообогреваемого теплогидравлического стенда, получившего сокращенное название ЭТГС. В обеспечение проектирования и обоснования конструкции элементов оборудования ЭТГС в отделе выполнялись следующие работы:

- при участии специалистов ОТФИ разработан технический проект стенда ЭТГС;
- выполнен цикл расчётов по выбору и обоснованию технологических параметров стенда;
- разработан технический проект системы управления ЭТГС и регистрации технологических параметров (СКУиР).

Более подробная информация о задачах экспериментальных исследований на ЭТГС представлена в данном сборнике.

Традиционно значительное место в работах ОТФИ занимают проблемы развития, верификации/валидации, технической поддержки и сопровождения эксплуатации системного расчётного кода КОРСАР.

Приближаются к завершению многолетние работы по созданию кода нового поколения КОРСАР/3D. Функциональное наполнение (ФН) РК КОРСАР/3D содержит ряд принципиально новых моделей:

- CFD-модуль, как типовой элемент ФН, обеспечивает 3D-моделирование термогидродинамики проточной части напорной камеры реактора типа ВВЭР;
- трёхжидкостную модель нестационарной теплогидравлики (девять уравнений сохранения) для моделирования трёхкомпонентного потока;
- сопряженную нейтронно-физическую и теплогидравлическую модель активной зоны, обеспечивающую расчёт энерговыделения в потвэльном приближении;
- модуль РАПТА (разработчик ВНИИНМ, Москва) для расчёта термомеханического поведения твэлов в различных аварийных ситуациях.

Существенно усовершенствован и интерфейс пользователя: наряду с известным языком кодирования данных в текстовом виде (DLC) появилась возможность взаимодействия пользователя с кодом с помощью графической оболочки.

В 2022 году начаты работы по созданию специализированной версии РК КОРСАР/СММ, которые должны завершиться в 2023 году. В перспективе эта версия после выполнения работ по её верификации/валидации и аттестации в надзорных органах обеспечит численное моделирование аварийных режимов реакторных установок малой мощности.

Аттестованная в 2021 году в Экспертном совете при НТЦ ЯРБ Ростехнадзора версия КОРСАР/ГП (аттест. паспорт № 537 от 28.12.2021) в настоящее время эксплуатируется в нескольких организациях: АО ОКБ «Гидропресс», АО «Атомэнергопроект», АО «ТВЭЛ».

В рамках технической поддержки эксплуатируемого для обоснования безопасности АЭС с ВВЭР расчётного кода КОРСАР/ГП осуществлялись работы по совершенствованию его функционального наполнения:

- с целью повышения устойчивости численного решения и ускорения расчётов изменен алгоритм выбора шага интегрирования по времени;
- усовершенствован алгоритм моделирования расслоенного режима течения в горизонтальных двухфазных потоках;
- в обеспечение расчёта свойств водяного теплоносителя в области сверхкритических параметров и уточнения свойств воды и водяного пара в метастабильных состояниях выполнен переход на международный стандарт IAPWS-95.

В 2022 году по заданию АО ОКБ «Гидропресс» выполнены работы по валидации РК КОРСАР/ГП на основе базы экспериментальных данных по кризису теплообмена и повторному заливу, полученной на уникальном крупномасштабном стенде (электрообогреваемая модель ТВС-2М в виде сборки из 127 стержней полномасштабной длины).

Впервые выполнены валидационные расчёты так называемого гравитационного залива ТВС (с подачей воды в модель напорной камеры реактора).

В области параметров, характерных для аварийных режимов РУ с ВВЭР типа LOCA, получены следующие результаты по среднеквадратичным погрешностям при сопоставлении расчётных и экспериментальных данных:

- по критическому тепловому потоку – ±5,0 %;
- по температуре имитаторов твэлов при повторном заливе не выше ±32 °С, а по времени залива модели ТВС – ±17 %.

Значительный объём работ был выполнен в 2022 году по направлению экспериментальных исследований теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании.

Совместно с отделом метрологии института организованы и проведены работы по аттестации стенда ИСТП (аттестат № 4.22.0004 от 13.05.2022). Стенду присвоен заводской номер – № 1294-11-22.

На стенде ИСТП планируются эксперименты по изучению следующих физических явлений:

- гидравлическое сопротивление двухфазного потока в необогреваемых и обогреваемых трубах;
- истинное объёмное паросодержание адиабатических двухфазных потоков в вертикальных каналах;
- повторный залив в трубах (изучение механизма движения фронта смачивания в условиях «симметричного» потока).

В целом эти данные необходимы для восполнения отсутствующей информации по оценке неопределенностей замыкающих соотношений теплогидравлических моделей в области низких параметров (давление, массовая скорость).

В 2022 году выполнен цикл экспериментов на установке «КОРВЕТ-2» по оценке влияния раствора борной кислоты и взвесей различного состава (дебриса) на процессы теплоотвода от стенки корпуса устройства локализации расплава (УЛР) АЭС с ВВЭР. Впервые получены экспериментальные данные по кризису теплообмена ($q_{кр}$) при кипении «загрязненной» воды на вертикальной и наклонной поверхностях. Выполнено обобщение полученных экспериментальных данных, предложены критериальные зависимости для расчёта $q_{кр}$, которые с погрешностью не более ±10 % описывают результаты опытов. Полученные экспериментальные данные и расчётные рекомендации использовались при выполнении проектных работ по УЛР АЭС «Эль-Дабаа» (Египет) в АО «Атомэнергопроект».

В течение нескольких последних лет в институте успешно эксплуатируется разработанный в ОТФИ мобильный комплекс вакуумной осушки МО-1.01 (зав. № 1031-11-19). В 2022 году при помощи этого комплекса выполнены работы по осушке внутренних полостей паротурбинной установки на стендовом комплексе для наземных испытаний ЯЭУ различного типа и назначения.

Методические научно-технические разработки сотрудников отдела регулярно оформляются в виде статей и докладов. В 2022 году специалистами ОТФИ в соавторстве опубликованы семь статей в периодических изданиях России.

3.4 Задачи экспериментальной отработки технических решений по оборудованию РУ на электрообогреваемом стенде

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

Актуальность сооружения стенда и проведения экспериментов

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

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

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

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

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

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

Необходимо отработать предложенный АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» новый твёрдофазный метод регулирования термодинамической активности кислорода в ТЖМТ путем контроля его концентрации и подпитки растворенным кислородом с помощью массообменного аппарата,

обеспечивая функционирование всей системы в автоматическом режиме.

Важнейшими направлениями исследований на стенде являются также:

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

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

Цели и задачи экспериментальных исследований на ЭТГС

В процессе испытаний на стенде ЭТГС планируются следующие исследования.

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

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

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

2. **Экспериментальная отработка твердофазного метода ввода кислорода в теплоноситель**

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

3. **Освоение технологических операций замораживания/размораживания сплава**

В проектах ЯЭУ с ТЖМТ нового поколения предусматривается возможность многократной реализации технологического режима замораживания-размораживания сплава в первом

контуре. Поэтому отработка этого режима в условиях теплогидравлического стенда представляется весьма актуальной.

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

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

Исследования взаимодействия ТЖМТ *с конструкционными материалами*

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

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

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

Исследование процессов газопереноса инертных газов

Оптимальной диагностической средой для радиационно-технологического контроля активной зоны РУ с ТЖМТ является защитный газ буферной емкости. Целью исследований является изучение процессов формирования активности защитного газа по радионуклидам инертных радиоактивных газов за счет их переноса теплоносителем и последующего выхода в буферную емкость.

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

Отработка технологии контроля газовых проб

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

5. Отработка схем и способов измерения технологических параметров

При измерении технологических параметров в контуре с жидкометаллическим теплоносителем необходимо учитывать особые требования, предъявляемые к датчикам КИП, например, агрессивность среды, большой удельный вес ТЖМТ, высокая температура сплава. В большинстве случаев для измерения таких параметров как давление, расход, уровень

жидкометаллического теплоносителя отсутствуют серийные средства измерения. Поэтому требуется разработка специализированных датчиков и их опытная эксплуатация в условиях теплогидравлического стенда.

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

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

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

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

Уточнение замыкающих соотношений по гидравлике и теплообмену ТЖМТ в стержневой сборке

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

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

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

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

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

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

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

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

Экспериментальные исследования проводятся с целью изучения процессов в первом и втором контурах ППУ при возникновении аварийной ситуации с разгерметизацией теплообменных трубок в секциях парогенератора и поступлением пароводяной смеси в контур

сплава. Данная ситуация моделируется на стенде с помощью специальной линии впрыска в контур сплава воды или пароводяной смеси из внешнего источника.

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

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

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

В отличие от водо-водяных реакторов, для которых за десятилетия создана солидная валидационная база, для реакторов с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) имеется лишь небольшое количество экспериментальных установок (например, TALL (Швеция), NACIE (Италия), LIFUS5 (Италия), стенды ЦКТИ и института теплофизики СО РАН (Россия)), что явно недостаточно для обоснования и подтверждения расчётных моделей. Такая ситуация обусловлена прежде всего тем, что работа с жидким металлом технологически очень сложна, и эксперименты, соответственно, достаточно дорогие. В этих условиях большое значение приобретает база экспериментальных данных, формируемая в цифровом формате, удобном для валидации расчётных кодов.

Заключение

1. В обеспечение восстановления в институте опыта эксплуатации и испытаний ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем актуализирована необходимость сооружения электрообогреваемого стенда с ТЖМТ.

2. Сформулированы основные задачи, решение которых позволит отработать ряд новых технологий обращения с ТЖМТ и получить экспериментальные данные для валидации расчётных кодов.

4

4. ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И РАДИОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

И.В. Мирошниченко

В 2022 году в рамках химико-технологического направления работ НИТИ традиционно выполнялись регламентный контроль, исследования водно-химического и газового режимов в обеспечение испытаний стендовых ЯЭУ. Проводился отбор водных и газовых проб технологических сред, химический, газовый и радиохимический анализ состава теплоносителей, выполнялись работы по созданию специальных систем и оборудования для химического контроля и поддержания качества теплоносителей ЯЭУ, создания и отработки химических технологий.

4.1 Химические технологии для оборудования ЯЭУ

1. Отработка технологии дезактивации внутриконтурного оборудования с жидкометаллическим теплоносителем

Применительно к перспективным задачам на стенде КМ-1 были выполнены опытно-экспериментальные исследования по отработке технологии дезактивации внутриконтурного оборудования с жидкометаллическим теплоносителем.

2. Дезактивация внутренних поверхностей бака запаса дистиллята системы резервной проливки стенда ЯЭУ

Целью дезактивации являлось снижение радиационной нагрузки на персонал, выполняющий работы по фрагментации бака путем резки плазменной установкой.

Дезактивации подвергали площади поверхностей по линии реза при фрагментации бака шириной 40 см (по 20 см от линии реза) путем нанесения защитного полимерного пленкообразующего состава ПС-32 (ЗПП) на основе поливинилового спирта. (ПВС), армированного марлей. Состав покрытия: поливиниловый спирт (ПВС) – 10 %; глицерин – 10 %; щавелевая кислота, 10 % раствор – 0,5 %; этанол – 0,2 %; азотная кислота, 10 % раствор – 3 %; вода – остальное.

Характеристика радиоактивного загрязнения бака: максимальное общее загрязнение поверхностей составляло до 500 β-част./(см^2×мин), снимаемое загрязнение поверхностей составляло от 120 до 350 β-част./(см^2×мин). Радиоактивное загрязнение определялось радионуклидами ^{60}Co, ^{54}Mn и ^{94}Nb.

Выполненные работы позволили улучшить радиационную обстановку в местах производства работ, снизить радиационную нагрузку на персонал и загрязнение окружающей территории при фрагментации бака и выполнении погрузо-разгрузочных (транспортных) операциях.

Снимаемое загрязнение обработанных поверхностей бака не превышало 20 β-част./(см^2×мин). Плотность общего загрязнения снятого полимерного покрытия, армированного марлей, составило от 150 до 500 β-част./(см^2×мин).

3. Дезактивация трубной системы парогенератора

Целью дезактивации являлось улучшение радиационной обстановки у внешней поверхности парогенератора перед его разделкой. Для максимального снижения объёма жидких радиоактивных отходов дезактивацию трубных систем было предложено вести погружным (ванным) методом с использованием однованного способа дезактивации с трансформацией кислотного азотнокислого окислительного раствора перманганата калия в кислотный восстановительный раствор азотной и щавелевой кислот с вводом на заключительной стадии обработки перекиси водорода.

Была предложена следующая последовательность стадий дезактивации:

- I стадия: обработка раствором 8–12 г/л HNO_3 в течение 2–4 часов;
- II стадия: ввод в раствор стадии I до 0,8–1,2 г/л $KMnO_4$ и продолжение обработки в течение 2–4 часов;
- III стадия: ввод в раствор стадии II $H_2C_2O_4$ до 10–15 г/л и продолжение обработки в течение 2–4 часов;
- IV стадия: ввод в раствор стадии III до 2–5 г/л H_2O_2 и продолжение обработки в течение 1–2 часов.

Рабочая температура растворов на всех стадиях технологического процесса 85–90 °C. Технология предполагала возможность увеличения времени обработки на 1, 3 и 4 стадиях технологического процесса до 14–18 часов.

В процессе выполнения работы, при поступлении новых исходных данных по количеству радиоактивных коррозионных отложений, требующих удаления с поверхности ПГ, в технологию дезактивации были внесены изменения. Технологический регламент заключался в трёх последовательных обработках с промежуточными водными промывками ВВЧ:

- 1 этап обработки – в соответствии с базовыми рецептурами и методикой дезактивации;
- 2 этап обработки – обработка раствором 20–25 г/л $H_2C_2O_4$ в течение до 14 часов, затем ввод в раствор $H_2C_2O_4$ до 5–10 азотной кислоты и продолжение обработки в течение до 14 часов, затем ввод в раствор $H_2C_2O_4$ и HNO_3 до 5 г/л H_2O_2 и продолжение обработки в течение до 14 часов. Температура обработки 90 °C;
- 3 этап обработки – обработка раствором 10–15 г/л $H_2C_2O_4$ в течение до 14 часов при температуре 90 °C, затем ввод в раствор $H_2C_2O_4$ до 5 г/л H_2O_2 и продолжение обработки в течение до 14 часов при температуре 75–80 °C.

По окончании дезактивации мощность амбиентного эквивалента дозы вплотную

к поверхности парогенератора составляла от 0,5 до 1,5 мЗв/ч, на расстоянии 1 м – от 0,13 до 0,2 мЗв/ч. Усредненный коэффициент дезактивации равнялся 2,8.

Уровень снимаемого бета-загрязнения поверхностей парогенератора после дезактивации находился в диапазоне от 100 до 1000 β-част./(см^2×мин). Усредненный коэффициент дезактивации по снимаемому бета-излучению составил порядка 7,0. В большинстве контрольных точек снимаемое поверхностное бета-загрязнение не превышает допустимого уровня для обслуживаемых помещений.

4.2 Работы для объектов использования атомной энергии

1. Обоснование эффективности взрыхляющей промывки в системе СВО-1 энергоблоков № 1, 2 Ростовской АЭС

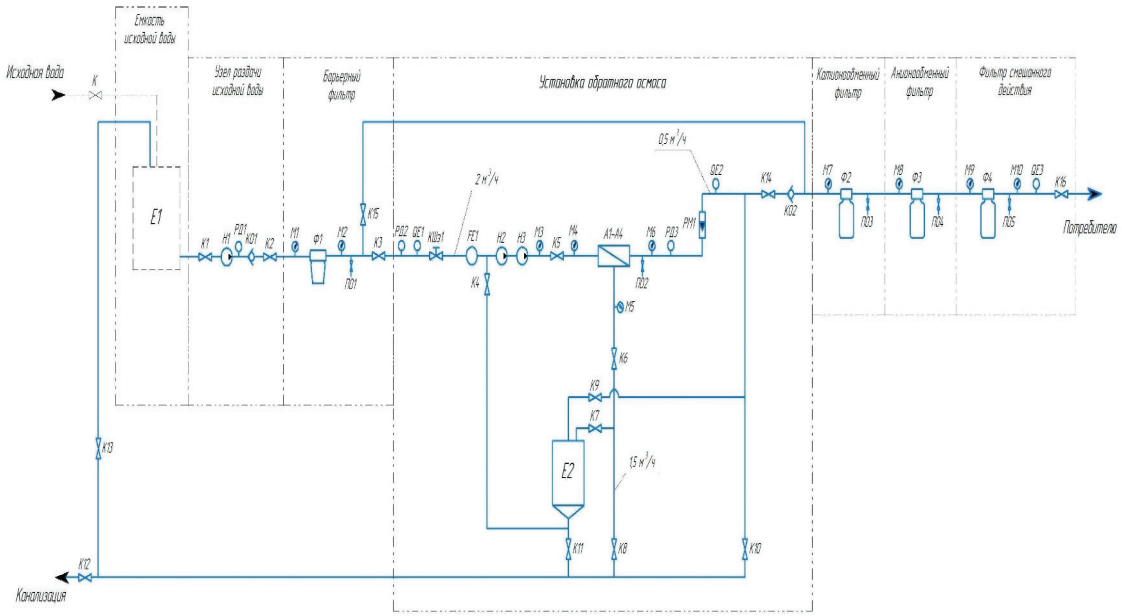
В рамках договора с концерном «Росэнергоатом» выполнено обоснование необходимости и эффективности взрыхляющей промывки в системе СВО-1 с учётом опыта эксплуатации энергоблоков № 1, 2 Ростовской АЭС. На основании расчётно-экспериментальных исследований подтверждена возможность гидроперегрузки сорбента из высокотемпературных фильтров (ВТМФ) СВО-1 в фильтр-контейнер, проведения дезактивации ВТМФ энергоблоков № 1, 2 Ростовской АЭС

2. Разработка сборника методик химических и радиохимических анализов рабочих сред технологических контуров судовых ЯЭУ и хранилищ ОЯТ

В рамках договора с НИЦ «Курчатовский институт» разработан и выпущен «Сборник аттестованных методик химических и радиохимических анализов рабочих сред технологических контуров судовых ЯЭУ и хранилищ ОЯТ». Сборник является основным нормативно-методическим документом для обеспечения поддержания ВХР технологических контуров РУ судов с ЯЭУ новых типов (РИТМ-200, РИТМ-400) и хранилищ ОЯТ судов АТО. Для каждой методики, прошедшей метрологическую экспертизу в аккредитованной организации, разработаны отчеты об исследованиях метрологических характеристик. Методики прошли опытную апробацию, ориентированы на аналитическую практику, судовое и лабораторное оборудование на объектах ФГУП «Атомфлот».

3. Изготовление модульных установок очистки жидких радиоактивных отходов и водоподготовки

Изготовлены и переданы Заказчику (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ») модульные установки очистки жидких радиоактивных отходов и водоподготовки. Установки предназначены для очистки ЖРО реактора ИРТ АЦ НИЯУ МИФИ от радионуклидов ^{134,137}Cs, ^{152}Eu, ^{90}Sr, ^{59}Fe, ^{60}Co, а также подпитки системы охлаждения реактора путем глубокой очистки и обессоливания воды из водопроводной сети. Максимальная объёмная активность исходных ЖРО – не более 10^4 Бк/дм^3, общее солесодержание – до 5 г/дм^3. Производительность переработки – до 0,5 м^3/час с качеством очищенной воды не более 0,4 мкСм/см и величиной pH в диапазоне 5,0–6,5. Принципиальная схема установки очистки ЖРО представлена на рисунке 1.



КШэ – поворотный затворы с электроприводом; FE – (датчик расхода) ультразвуковой расходомер; Е2 – ёмкость для хим. мойки установки, М – манометр; К – кран; Н – насос; РМ – ротаметр; ПО – пробоотборник; КО — клапан обратный; РД – реле давления, Ф1 — барьерный фильтр, Ф2 – катионообменный фильтр, Ф3 — анионообменный фильтр, Ф4 — фильтр смешанного действия, QE – датчик электропроводности.

Рисунок 1– Принципиальная технологическая схема блока ЖРО

4. Создание автоматических обнаружителей взрывчатых веществ

Одним из направлений деятельности в области развития химических технологий является создание автоматических обнаружителей взрывчатых веществ (ОВВ), предназначенных для контроля на пунктах массового прохода персонала на режимных объектах. На основе метода спектрометрии приращения ионной подвижности и оригинальных устройств пробоотбора, в НИТИ производятся и серийно поставляются обнаружители взрывчатых веществ «ЧУБ», а также усовершенствованная модификация – ОВВ «Кратос».

Функционирование данных приборов основано на следующей технологии. При нажатии на кнопку-пробоотборник происходит перенос на её поверхность следов/микрочастиц взрывчатых веществ вместе с потожировыми отложениями отпечатка пальца. Далее в автоматическом режиме поверхность кнопки быстро нагревается, а испарившиеся с кнопки пары веществ анализируются детектором. В случае наличия в анализируемой пробе паров взрывчатых веществ вырабатывается сигнал тревоги. На рисунке 2 показаны: фотография внешнего вида обнаружителя «Кратос»; (б) фотография обнаружителей «Кратос», установленных на контрольно-пропускном пункте.

Рисунок 2 – Фотографии: (а) внешнего вида обнаружителя «Кратос» – (стрелкой показана площадка для нанесения отпечатка пальца); (б) обнаружителей «Кратос», установленных на контрольно-пропускном пункте.

Время отбора образца с отпечатка пальца руки человека не превышает 1 с, время анализа – 3 с, а производительность обследования в условиях массового прохода – 15 человек/мин. Пределы обнаружения следовых количеств ТНТ, ПЭТН, гексогена и тетрила не превышают $1 \cdot 10^{-8}$ г. Обнаружители не требуют присутствия оператора и работают в автоматическом режиме 24 часа 7 дней в неделю. Как показывает опыт эксплуатации данных приборов, они способны обеспечить производительность 200–300 тысяч обследований за один год и более одного миллиона обследований за назначенный срок службы в 5 лет.

В кооперации с ООО «Комплексные системы безопасности атомной промышленности» (ООО «Атомпромкомплекс»), в соответствии с лицензионным договором на использование патентных прав и производство продукции, в 2022 году выполнены сборка, наладка, испытания комплектующих для автоматических обнаружителей взрывчатых веществ «Чуб». Были изготовленырт и переданы Заказчику 21 комплект оборудования, в том числе 13 приборов, предназначенных для оснащения системы физической защиты на проходных Ленинградской АЭС-2.

Наряду с серийным производством обнаружителей, были выполнены работы научно-прикладного характера, направленные на повышение достоверности аналитического сигнала и исследование влияния мешающих факторов при детектировании взрывчатых веществ. Влияние органических кислот и их содержания в аналите, способных вызывать ложноположительные сигналы детекторов на основе метода спектрометрии ионной подвижности подробно рассматривается в приведенной ниже оригинальной статье.

5. Обеспечение радиационной безопасности, радиоэкологические исследования, оценка воздействия ЯЭУ на окружающую среду и население региона

Переработка жидких радиоактивных отходов

С использованием комплексных технологий обращения с ЖРО, реализованных в автоматизированной модульной мембранно-сорбционной установке (ММСУ-А), в 2022 году выполнена переработка более 560 м^3 жидких радиоактивных отходов, образованных в процессе испытаний и вывода из эксплуатации стендов-прототипов транспортных ЯЭУ института.

На ММСУ-А, состоящей из модулей микро- и ультрафильтрации, обратного осмоса и ионного обмена, проводится концентрирование ЖРО до солесодержания 10 г/л. Производительность установки составляет до 0,5 м^3/ч. При этом модули микро и ультрафильтрации обеспечивают очистку ЖРО сложного физико-химического состава от взвесей и коллоидов, а модули обратного осмоса и ионного обмена – очистку от радионуклидов в ионных формах и растворенных загрязнений. На рисунке 3 представлен внешний вид обратноосмотического модуля ММСУ-А.

Рисунок 3 – Модуль обратно-осмотический автоматизированный

Оценка воздействия стендовых установок НИТИ на окружающую среду и население региона

В области деятельности аккредитованных лабораторий радиоэкологического контроля (РЭК) и инструментального контроля производственных и экологических факторов (ЛИКПЭФ) проводился мониторинг газоаэрозольных выбросов, сбросных и сточных вод с промплощадки предприятия, а также оценка воздействия стендовых установок НИТИ на окружающую среду и население региона. Результаты радиоэкологического мониторинга воздушной среды на промплощадке ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» представлены в оригинальной статье.

Исследование сорбционных свойств грунтов и водовмещающих пород для расчёта миграции радионуклидов на площадке Смоленской АЭС-2

По заказу АО «АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ» были выполнены лабораторные определения сорбционных свойств грунтов и водовмещающих пород по отношению к радионуклидам станционного происхождения (Cs-137, Sr-90) для расчёта миграции радионуклидов на площадке

Смоленской АЭС-2. На основании гамма-спектрометрических измерений и радиохимического анализа 30 образцов грунта, отобранных с поверхностного слоя на площадке строящейся АЭС и из скважин глубиной до 63 м, подготовлено заключение об отсутствии техногенного радиоактивного загрязнения грунта и геологических пород. Подавляющая часть активности проб связана с природным радионуклидом К-40, удельная активность которого варьируется в диапазоне от 32 Бк/кг до 300 Бк/кг. Радионуклиды, связанные с деятельностью ОИАЭ не обнаружены – находятся ниже минимально-детектируемой активности (< 1,0 Бк/кг сухой массы пробы).

Экспериментально определена удерживающая способность грунтов по отношению к радионуклидам техногенного происхождения (Cs-137, Sr-90), выполнены расчёты коэффициентов распределения конкретного радионуклида в равновесной системе «грунт – грунтовая вода», используемых при оценке миграции радионуклидов в подземной гидросфере площадки Смоленской АЭС-2. Коэффициенты сорбционного распределения радионуклидов в равновесной системе «грунт – вода» (Kd) для выборки образцов грунтов с различными стратиграфическими индексами представлены в таблице 1.

Таблица 1

Коэффициенты сорбционного распределения радионуклидов в равновесной системе «грунт – вода» (K_d)

№ п/п	Рег. номер пробы	Номер скважины	Интервал отбора, м	Литологический состав	K_d			
					^{137}Cs		^{90}Sr	
					значение, см³/г	неопределенность, %	значение, см³/г	неопределенность, %
Стратиграфический индекс **f,lgQ$_{I-II}$ok-ms**								
1	542	21847	14,5-14,6	Песок пылеватый	3661	29,4	44	29,6
2	543	21847	17,2-17,4	Суглинок полутвердый	9512	29,4	105	29,0
5	546	21849	9,0-9,5	Песок средней крупности	354	29,0	18	29,4
8	549	21917	9,7-10,2	Песок крупный	632	29,4	17	29,4
9	550	21927	16,8-17,0	Глина полутвердая	12488	29,2	149	29,4
22	563	22141	8,3-8,5	Песок мелкий	1079	30,2	92	29,0
24	565	22143	30,1-30,3	Суглинок тугопластичный	1944	29,1	94	29,0
27	568	22165	14,1-14,3	Суглинок полутвердый	3695	29,3	83	29,0
28	569	22165	25,4-25,6	Песок пылеватый	2515	29,2	33	29,7
Стратиграфический индекс **f,lg^{s}Q$_{II}$ms**								
3	544	21848	2,0-2,2	Суглинок тугопластичный	9620	29,4	69	30,0
4	545	21848	6,2-6,4	Суглинок мягкопластичный	9114	29,7	34	29,7
6	547	21885	1,25-1,35	Песок пылеватый	3694	29,2	33	29,9

№ п/п	Рег. номер пробы	Номер скважины	Интервал отбора, м	Литологический состав	K_d			
					^{137}Cs		^{90}Sr	
					значение, см³/г	неопределенность, %	значение, см³/г	неопределенность, %
7	548	21913	2,8-3,0	Суглинок твердый	8631	29,3	54	29,5
11	552	21960	0,1-0,5	Супесь твердая	3120	29,1	79	29,9
20	561	22135	5,0-5,2	Суглинок тугопластичный	7171	30,2	31	29,6
21	562	22141	4,4-4,6	Суглинок полутвердый	5853	30,0	31	29,3
23	564	22141	34,5-34,7	Песок мелкий	586	30,0	8	29,1
26	567	22152	9,3-9,5	Суглинок тугопластичный	5514	29,9	24	29,1
Стратиграфический индекс **K_{1-2}al-c** и **p_2^3kv**								
13	554	21968	56,0-56,2	Песок пылеватый	1061	29,9	55	
25	566	22143	44,6-44,8	Песок мелкий	1088	29,5	32	
29	570	22173	43,3-43,5	Глина полутвердая	2124	29,1	50	
30	571	22241	42,0-42,5	Фосфориты, заполнитель – песок мелкий	7149	29,4	367	
Стратиграфический индекс **C_1tl**								
14	555	21968	61,0-61,2	Песок пылеватый	3769	29,6	138	
15	556	21968	62,2-62,4	Алеврит	3812	29,3	184	

4.3 Дезактивация оборудования ЯЭУ с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем

С.Н. Орлов, А.А. Змитродан, А.М. Алешин, П.Н. Зуев

Ядерные энергетические установки с тяжёлым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) первого контура обладают рядом преимуществ по сравнению традиционными водо-водяными реакторами: более высокой рабочей температурой и теплоемкостью теплоносителя, низким давлением в контуре. В тоже время данный тип установок имеет и ряд недостатков, одним из которых является меньшая разработанность технологий обеспечения жизненного цикла ЯЭУ с ТЖМТ.

Так, при испытаниях ЯЭУ с ТЖМТ для дезактивации оборудования преимущественно применялись растворы на основе высококипящего органического растворителя, содержащие ацетат аммония и неорганический окислитель – нитрит натрия [1]. Наряду с несомненными

преимуществами, такими как высокий коэффициент дезактивации и сохранение защитных оксидных пленок на поверхности оборудования, способ обладает и рядом значимых недостатков: высокая температура проведения процесса, а значит энергоемкость и повышенные требования к аппаратурному обеспечению, большие объёмы высокосолевых органических ЖРО.

В связи с этим, в ходе исследования для дезактивации оборудования РУ с ТЖМТ рассмотрены водные растворы кислот, для которых наблюдается высокая растворимость солей в ТЖМТ, а именно уксусной, азотной и тетрафторборной [2]. Эффективность данных растворов изучена применительно к растворению основных видов загрязнений [3–4], которые можно ожидать на поверхности оборудования ЯЭУ с ЖМТ: самого эвтектического сплава, оксида свинца, магнетита, диоксида урана.

В ходе исследования рассмотрены водные растворы следующего состава:

- 10 % азотной кислоты;
- 30 % азотной кислоты;
- 10 % азотной кислоты и 2 % пероксида водорода;
- 10 % уксусной кислоты;
- 30 % уксусной кислоты;
- 10 % уксусной кислоты и 2 % пероксида водорода;
- 5 % тетрафторборной кислоты;
- 10 % тетрафторборной кислоты;
- 10 % тетрафторборной кислоты и 2 % пероксида водорода.

Использование растворов кислот и концентрированного пероксида водорода для растворения ТЖМТ сопровождается активным газовыделением из-за разложения H_2O_2 в присутствии свинца. В условиях замкнутого контура подобная реакция может привести к повреждению оборудования или взрыву (из-за выделения водорода). В связи с этим, растворы с концентрированным пероксидом водорода исключены из рассмотрения.

Исходя из требований к дезактивирующему раствору, в качестве объектов исследования были выбраны основные классы загрязнений, которые можно ожидать на поверхности конструкционных материалов ЯЭУ с ТЖМТТ: оксид свинца; магнетит; диоксид урана.

Помимо исследования эффективности растворения отдельных видов загрязнений в качестве объекта дезактивации использованы образцы нержавеющей стали 08Х18Н10Т, поверхность которых загрязнена ТЖМТ.

Экспериментальные результаты

Зависимость концентрации железа, поступающего в дезактивирующий раствор при растворении магнетита, от времени дезактивации представлено на рисунках 1–3.

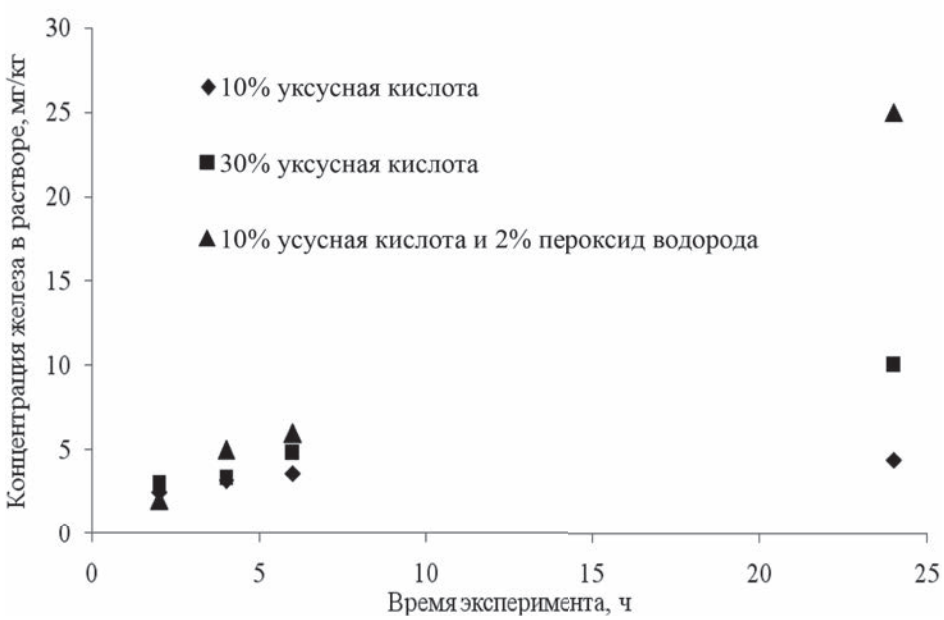


Рисунок 1 – Растворение магнетита в растворах уксусной кислоты

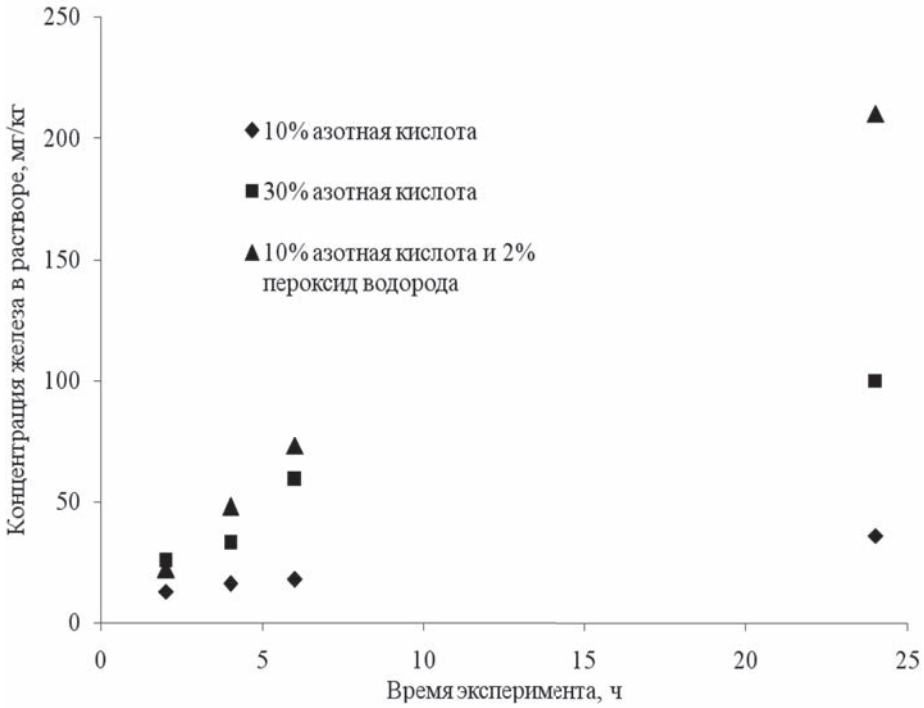


Рисунок 2 – Растворение магнетита в растворах азотной кислоты

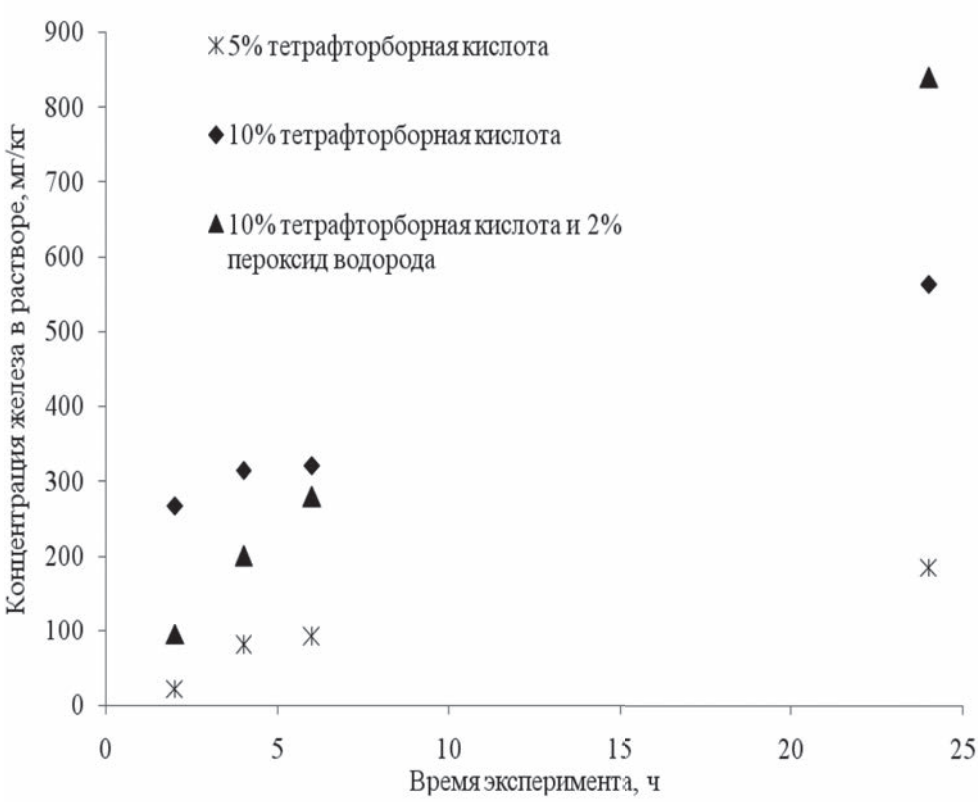


Рисунок 3 – Растворение магнетита в растворах тетрафторборной кислоты

Из представленных данных можно сделать следующие заключения:

1. Скорость растворения магнетита в растворах уксусной кислоты имеет низкое значение, даже в присутствии H_2O_2 – не более 1 мкг/(кг·ч).
2. Скорость растворения магнетита в растворах азотной кислоты в 8–10 раз выше, чем в растворах уксусной кислоты с аналогичной концентрацией.
3. Добавление H_2O_2 в количестве 2 % по массе к раствору азотной кислоты приводит к росту скорости растворения магнетита примерно в 5 раз.
4. Скорость растворения магнетита в растворе тетрафторборной кислоты без добавления пероксида водорода 2,5 раза выше, чем в растворе с той же концентрацией азотной кислоты и добавлением H_2O_2.
5. Добавление пероксида водорода в количестве 2 % по массе к раствору тетрафторборной кислоты приводит к росту скорости растворения магнетита примерно в 1,5 раз.

Зависимости концентрации ТЖМТ, поступающих в дезактивирующий раствор от времени дезактивации представлены на рисунках 4–6.

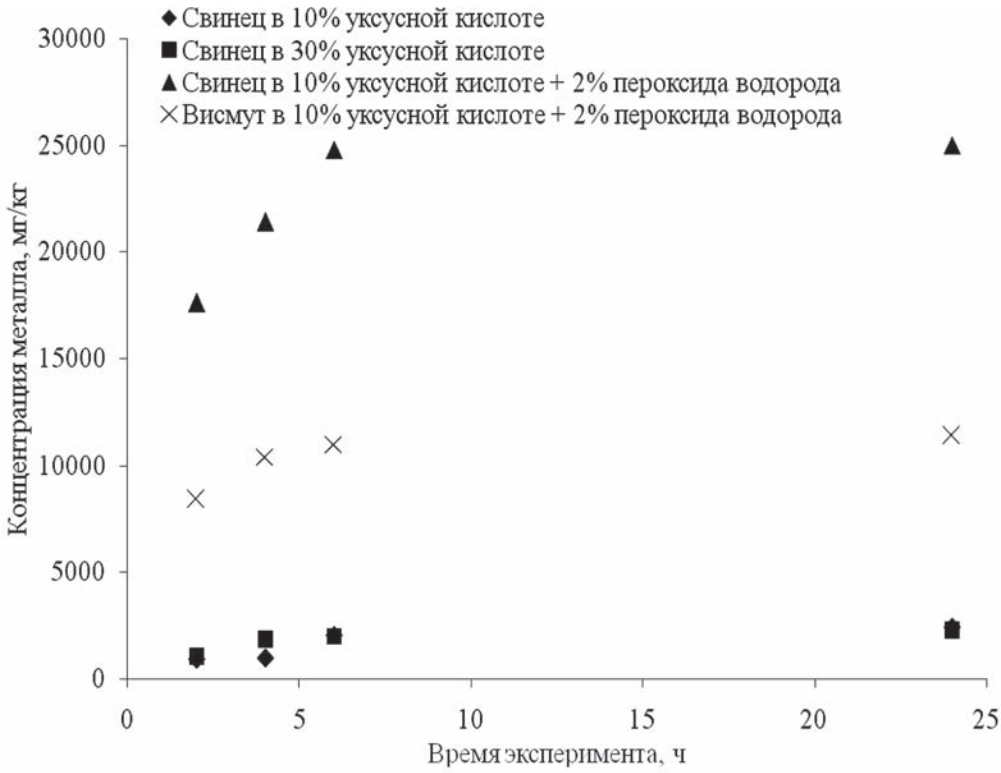


Рисунок 4 – Растворение ТЖМТ в растворах уксусной кислоты

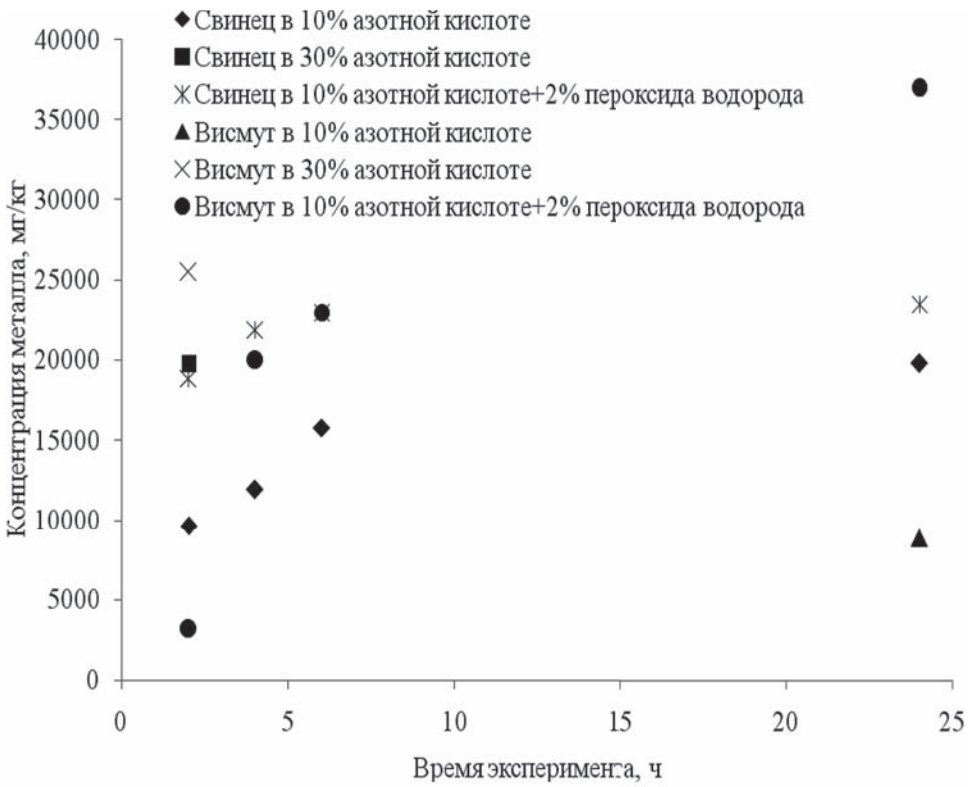


Рисунок 5 – Растворение ТЖМТ в растворах азотной кислоты

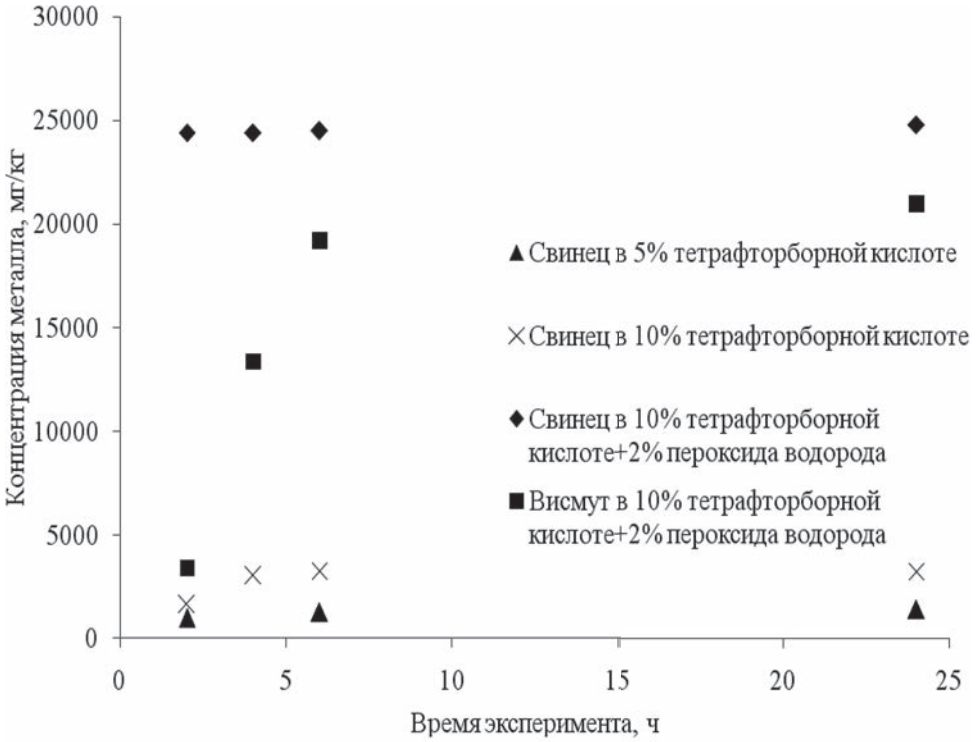


Рисунок 6 – Растворение ТЖМТ в растворах тетрафторборной кислоты

Из представленных данных можно сделать следующие заключения:

1. ТЖМТ эффективно растворяется в уксусной кислоте только в присутствии пероксида водорода. При добавлении 2 % H_2O_2 свинец из ТЖМТ полностью растворяется в 10 % растворе уксусной кислоты за 6 ч, после чего за оставшиеся 18 ч эксперимента в раствор переходит примерно 50 % висмута.

2. ТЖМТ эффективно растворяется в растворах азотной кислоты. Полное растворение навески в растворе 10 % азотной кислоты + 2 % пероксида водорода происходит за 24 ч., в 30 % азотной кислоте – за 2 ч.

3. Навеска ТЖМТ полностью растворяется в растворе 10 % тетрафторборной кислоты в сочетании с 2 % пероксида водорода примерно за 6–8 часов.

Во всех случаях, кроме раствора 30% азотной кислоты навеска оксида свинца растворилась полностью. Время, за которое произошло полное растворение, для каждого раствора приведено в таблице 1.

Таблица 1

Время растворения навески оксида свинца

Раствор	Время растворения, ч
10 % азотная кислота	2
10 % азотная кислота + 2 % пероксида водорода	24
10 % уксусная кислота	4
30 % уксусная кислота	2

Раствор	Время растворения, ч
10 % уксусная кислота + 2 % пероксида водорода	2
5 % тетрафторборная кислота	4
10% тетрафторборная кислота	2
10 % тетрафторборная кислота + 2 % пероксида водорода	2

В случае 30 % азотной кислоты за первые 2 часа эксперимента в раствор перешло порядка 50 % навески оксида свинца, после чего растворение остановилось.

В таблице 2 приведены значения эффективности растворения навески диоксида урана в дезактивирующих растворах за 24 часа.

Таблица 2

Эффективность растворения навески диоксида урана

Раствор	Эффективность растворения, %
10 % азотная кислота	100
30 % азотная кислота	100
10 % азотная кислота + 2 % пероксида водорода	10
10 % уксусная кислота	6
30 % уксусная кислота	8
10 % уксусная кислота + 2 % пероксида водорода	1
5 % тетрафторборная кислота	20
10 % тетрафторборная кислота	30
10 % тетрафторборная кислота + 2 % пероксида водорода	12

Из результатов проведенных экспериментов можно сделать следующие заключения:

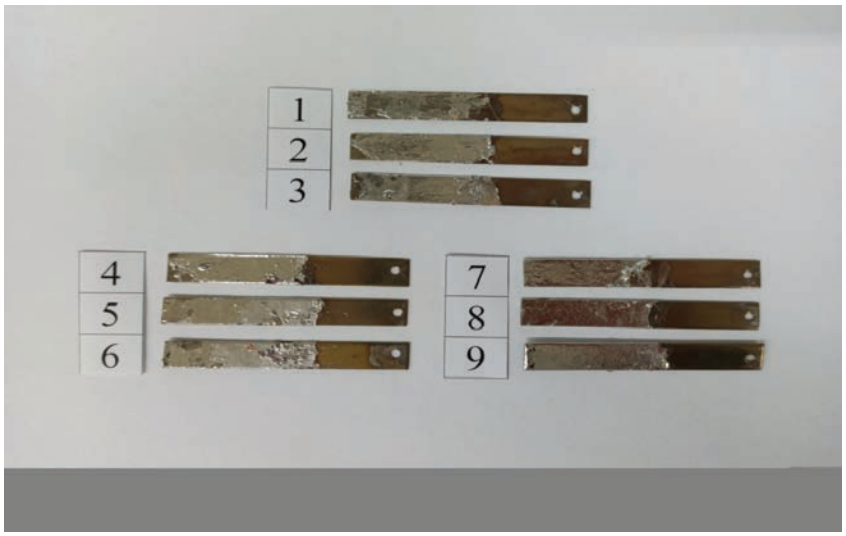
6. Навеска диоксида урана полностью растворяется только в растворах азотной кислоты без добавления пероксида водорода. В 10 % азотной кислоте растворение происходит примерно за 6 часов, в 30 % – менее чем за 2 часа.

7. Эффективность растворения диоксида урана в растворах уксусной кислоты без добавления пероксида водорода не превышает 8 %.

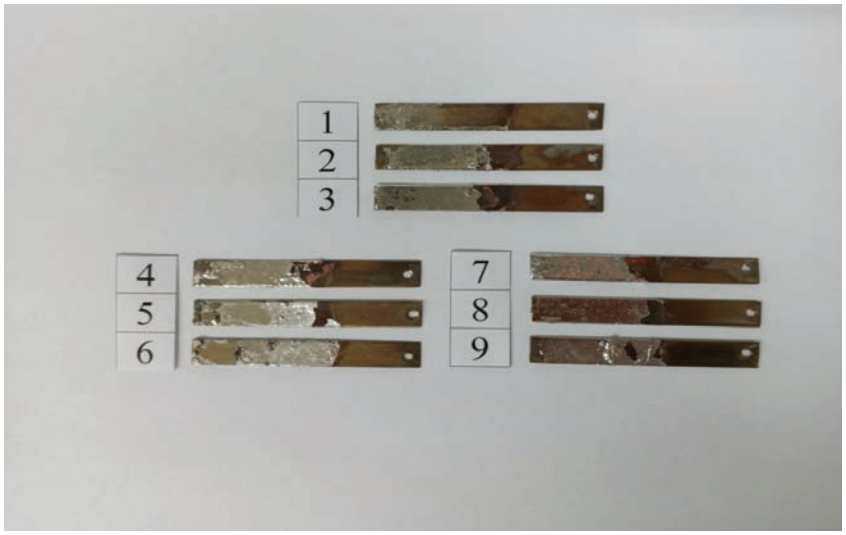
8. Навеска диоксида урана растворяется в растворах тетрафторборной кислоты без добавления пероксида водорода эффективнее, чем в растворах уксусной кислоты, однако абсолютное значение параметра не превышает 30 %.

9. Низкое значение эффективности растворения диоксида урана в растворах уксусной, тетрафторборной и азотной кислоты с добавлением пероксида водорода объясняется выпадением вторичного светло-желтого осадка пероксида урана.

На рисунке 7 представлен внешний вид образцов стали 08Х18Н10Т после выдержки в течение 50 ч в расплавленном ТЖМТ при температуре 375 °С при доступе воздуха.



а



б

Рисунок 7 – Внешний вид образцов после выдержки в ТЖМТ: а – сторона один, б – сторона два

Как видно из рисунка 7, после выдержки в ТЖМТ все образцы покрыты достаточно равномерной коркой застывшего сплава примерно на половину своей длины. Части образцов, не контактировавшие с ТЖМТ, покрыты желтой оксидной пленкой. Изменение массы образцов после выдержки в ТЖМТ и в дезактивирующих растворах представлены в таблице 3.

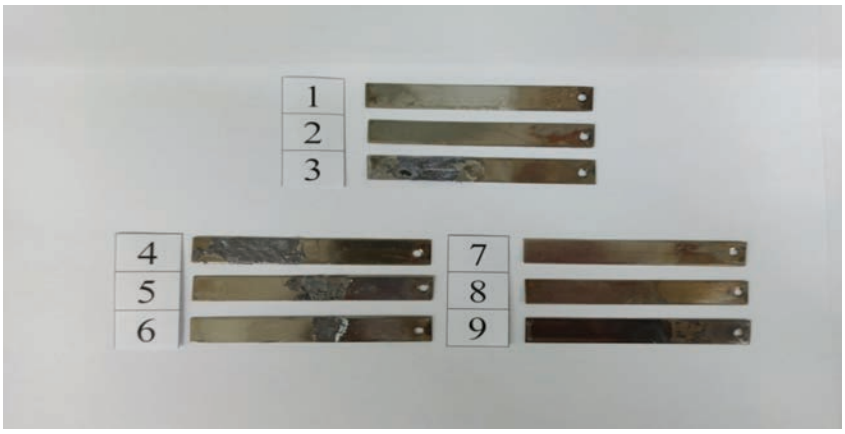
Из данных представленных в таблице 3 видно, что в среднем прирост массы образцов составляет порядка 25–50 мг/см^2 поверхности образца, контактировавшей с ТЖМТ. Данные значения достаточно хорошо согласуются с приведенным в литературе максимальным уровнем загрязнения металлических поверхностей ТЖМТ – 40 мг/см^2 [4]. При этом следует отметить, что не весь прирост массы образцов определяется загрязнением ТЖМТ, увеличение массы также происходит за счет формирования оксидной пленки.

На рисунке 8 приведен внешний вид образцов после выдержки в дезактивирующих растворах в течение 24 часов.

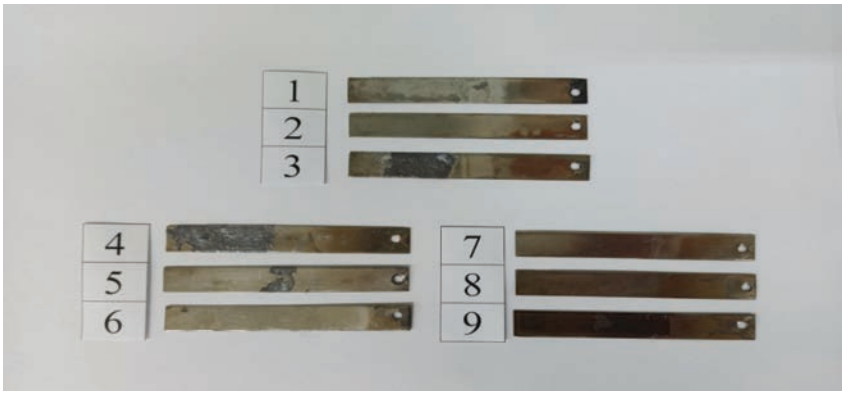
Таблица 3

Изменение массы образцов стали после выдержки в ТЖМТ и дезактивирующих растворах

№ образца	Исходная масса образца, г	Дезактивирующий раствор	Изменение массы образца относительно исходной, г				
			После выдержки в ТЖМТ	После выдержки в дезактивирующем растворе, в течение			
				2 часов	4 часов	6 часов	24 часов
1	4,6316	10 % HNO_3	0,3230	0,2275	0,0992	0,0992	0,0992
2	4,5738	30 % HNO_3	0,4156	-0,0137	-0,0138	-0,0138	-0,0138
3	4,4829	10 % CH_3COOH	0,7924	0,7088	0,6502	0,6134	0,3103
4	4,5896	30 % CH_3COOH	0,3736	0,2576	0,2361	0,2088	0,1534
5	4,7592	5 % HBF_4	0,0820	-0,0448	-0,1410	-0,1653	-0,2795
6	4,7943	10 % HBF_4	0,0578	-0,1661	-0,2138	-0,3358	-0,4289
7	4,7329	10 % HNO_3+2 % H_2O_2	0,4101	-0,1015	-0,1011	-0,1015	-0,1017
8	4,5603	10 % CH_3COOH+2 % H_2O_2	0,3661	0,0138	0,0138	0,0138	0,0136
9	4,7280	10 % HBF_4+2 % H_2O_2	0,2420	-0,2252	-0,2315	-0,2358	-0,2451



а



б

Рисунок 8 – Внешний вид образцов после выдержки в дезактивирующих растворах в течение 24 часов: а – сторона один, б – сторона два

Из данных, представленных в таблице 3 и на рисунке 8, можно сделать следующие заключения:

1. Застывший ТЖМТ был удален с поверхности образцов 1, 2, 7, 8, 9 (в растворах азотной кислоты и азотной, уксусной и тетрафторборной кислот с добавлением пероксида водорода) за 6 часов эксперимента.

2. Для образцов 5, 6, 7, 9 (растворы тетрафторборной кислоты и азотной кислоты с пероксидом водорода) наблюдается заметная коррозия основного материала. Причем для образцов 5, 6 (растворы тетрафторборной кислоты без добавления пероксида водорода) коррозия основного материала наблюдается при частичном сохранении загрязнения ТЖМТ.

3. Отклонение массы образцов 1, 2, 8 (растворы азотной кислоты и уксусной кислоты с добавлением пероксида водорода) от начального значения, по-видимому, объясняются процессами формирования и удаления оксидной пленки.

В целом, можно отметить, что данные, полученные при отмывке застывшего ТЖМТ с поверхности образцов стали, хорошо согласуются с результатами растворения в дезактивирующих растворах стружки сплава.

Обсуждение результатов

Из полученных экспериментальных данных видно, что растворы уксусной кислоты без добавления пероксида водорода не растворяют ТЖМТ. При добавлении пероксида водорода растворы уксусной кислоты способны эффективно удалять загрязнение свинцово-висмутовым сплавом с металлических поверхностей, не повреждая оксидные пленки на конструкционных материалах. Данный факт делает растворы уксусной кислоты и пероксида водорода оптимальным выбором для проведения периодической отмывки съемного оборудования первого контура РУ с ТЖМТ или оборудования, контактировавшего со сплавом.

Полученные результаты также свидетельствуют, что концентрация уксусной кислоты 10 % по массе и пероксида водорода 2 % по массе является достаточной для удаления загрязнений, как с точки зрения обеспечения приемлемой скорости очистки, так и с точки зрения емкости раствора по загрязнениям. Показано, что в 1 см^3 раствора 10 % уксусной кислоты и 2 % пероксида водорода способно раствориться не менее 37 мг ТЖМТ. При максимальном уровне загрязнения ТЖМТ 40–50 мг/см^2 для отмывки 1 см^2 поверхности потребуется порядка 2 см^3 дезактивирующего раствора, что выглядит вполне приемлемым.

Растворы тетрафторборной кислоты эффективно растворяют ТЖМТ только при добавлении пероксида водорода. При этом, в отличии от уксусной, тетрафторборная кислота растворяет также и оксидную пленку и даже верхний слой самого конструкционного материала (то есть при её применении происходит процесс травления материала). Таким образом, раствор 10 % тетрафторборной кислоты и 2 % пероксида водорода обеспечивает эффективную дезактивацию оборудования, однако практически исключает его дальнейшее использование. Данное обстоятельство позволяет применять раствор 10 % тетрафторборной кислоты и 2 % пероксида водорода для постэксплуатационной дезактивации оборудования, передаваемого в ТРО.

Растворы азотной кислоты способны растворять ТЖМТ, как при добавлении пероксида водорода, так и без него. При этом, при взаимодействии раствора азотной кислоты и пероксида водорода с диоксидом урана происходит выпадение вторичного светло-желтого осадка пероксида урана по реакциям [5]:

$$UO_2 + 4HNO_3 \rightarrow UO_2(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2\uparrow$$
$$UO_2(NO_3)_2 + H_2O_2 + 2H_2O \rightarrow UO_4{\cdot}2H_2O\downarrow + 2HNO_3.$$

В свою очередь, раствор 30 % азотной кислоты пассивирует поверхность оксида свинца (II) за счет формирования нитрата свинца (II) плохо растворимого в концентрированной азотной кислоте, что снижает эффективность раствора по отношению к удалению шлаков

В тоже время 10 % раствор азотной кислоты способен растворять магнетит, ТЖМТ, оксиды свинца и урана, и при этом не приводит к значительной потере массы образца конструкционного материала, что делает данный раствор оптимальным для внутриконтурной дезактивации РУ с ТЖМТ. Для повышения скорости растворения ТЖМТ и магнетита в растворе следует рассмотреть возможность проведения процесса дезактивации при повышенной температуре.

Важным вопросом выполнения внутриконтурной дезактивации РУ с ТЖМТ является обеспечение достаточной емкости дезактивирующего раствора по загрязнениям. При её недостаточном уровне в контуре будет происходить образование вторичного осадка, что может вызывать зарастание отдельных трубопроводов. Для определения необходимой емкости раствора следует учитывать, что в контуре будет оставаться не только застывшая на поверхностях корка сплава, но и сам теплоноситель в застойных зонах. В результате, возможность проведения дезактивации будет определяться эффективностью дренажа теплоносителя из контура. Суммарная емкость вводимого в контур раствора должна на 20–30 % превышать количество оставшегося в контуре сплава, определяемое как разница между массой первоначально загруженного и слитого в ходе дренажа теплоносителя.

В целом, следует отметить, что внутриконтурная дезактивация РУ с ТЖМТ – сложный и опасный процесс, который требует разработки и использования нештатного оборудования (в частности насосов для обеспечения циркуляции дезактивирующего раствора), обеспечения постдезактивационной отмывки и пассивации поверхностей оборудования. Проведение внутриконтурной дезактивации оправдано только в случае наличия на внутренних поверхностях оборудования и трубопроводов первого контура значимого количества фрагментов топлива, не позволяющего эффективно проводить дальнейшие испытания РУ.

Заключение

На основании результатов проведенного исследования, можно рекомендовать к применению следующие дезактивирующие рецептуры:

- для периодической отмывки от застывшего ТЖМТ оборудования без повреждения защитной оксидной пленки – раствор 10 % уксусной кислоты и 2 % пероксида водорода;
- для постэксплуатационной химической дезактивации с травлением поверхности съёмного оборудования, передаваемого в ТРО – раствор 10 % тетрафторборной кислоты и 2 % пероксида водорода;
- для внутриконтурной химической дезактивации в случае разгерметизации оболочек твэлов с поступлением значительного количества топлива на поверхности оборудования – раствор 10 % азотной кислоты при повышенной температуре.

В качестве направления дальнейших исследований можно рекомендовать изучение скорости коррозионных повреждений в выбранных дезактивирующих растворах всех основных конструкционных материалов первого контура РУ с ТЖМТ.

Список литературы

10. Андрианов А.К., Кривобоков В.В., Москвин Л.Н. Способ очистки и дезактивации внутриконтурного оборудования реакторной установки с жидкометаллическим свинцово-висмутовым теплоносителем. Патент РФ. Ru 2459 297 C1, 2011. 9 с.
11. Новый справочник химика и технолога. Химическое равновесие. Свойства растворов. Под ред. Симановой С.А. СПб: НПО “Профессионал”, 2004. 998 с.
12. Heinzel A., Weisenburger A., Muller G. Corrosion behavior of austenitic steels in liquid lead bismuth containing10^{-6} wt% and 10^{-8} wt % oxygen at 400–500 °C. Journal of Nuclear Materials 2014, Vol. 448. PP. 163–171
13. Lambrinou K., Koch V., Coen G., Van den Bosch J., Schroer C. Corrosion scales on various steels after exposure to liquid lead–bismuth eutectic. Journal of Nuclear Materials, 2014, Vol. 450. PP. 244-255.
14. Кац Дж., Рабинович Е. Химия урана. I том. М.: Издательство иностранной литературы. 1954. 490 с.

4.4 Ложноположительные сигналы при обнаружении взрывчатых веществ методом спектрометрии ионной подвижности: органические кислоты

Т.И. Буряков, И.А. Буряков

При изготовлении, хранении, транспортировке или манипуляциях с взрывными устройствами или зарядами взрывчатых веществ (ВВ) на их внешних оболочках, транспортной таре, поверхностях транспортного средства, в местах закладки, на руках, одежде человека, поверхностях предметов, которых касался человек загрязненными руками, остаются следы или микрочастицы ВВ. Именно по наличию этих следов/микрочастиц можно обнаружить подобные места, а также выявить людей, имевших контакт с ВВ. Последнему способствует то, что многие ВВ являются жирорастворимыми веществами и быстро проникают в потожировые отложения и в поверхностные слои кожи человека [1]. Даже после многократного мытья на руках присутствуют следы ВВ [2]. Поэтому различные поверхности (ручная кладь, руль автомобиля, дверная ручка и т.п.), руки человека или отпечатки его пальцев (ОП) являются наиболее представительными объектами обследования для поиска следов/микрочастиц ВВ.

В настоящее время спектрометрия ионной подвижности является одним из самых распространенных методов оперативного обнаружения следов/микрочастиц ВВ. Этот метод включает: отбор твердой или жидкой пробы и перевод её в газообразное состояние, ионизацию веществ газообразной пробы, разделение образовавшихся ионов по скорости их движения в газе под действием электрического поля, регистрацию разделенных ионов в виде совокупности пиков – спектра. Тип ионов характеризует величина, определяемая как среднее время дрейфа пакета ионов i-типа сквозь заполненную газом полость $t_{di} = l/(K_i E) = l^2/(K_i U)$, где l, см – дрейфовый путь ионов в газовой полости; K_i, см^2/(В с) – подвижность ионов i-типа; U, B – разность потенциалов между начальной и конечной точками дрейфового пути ионов. На спектре величина t_{di} регистрируется как максимум ионного пика. Значение подвижности K_i приводят к стандартной плотности газа $K_{0i} = K_i\,(273{,}15/T)(P/760)$, где K_{0i}, см^2/(В с) – приведенная подвижность ионов i-типа. P – давление газа, мм рт. ст.; T – абсолютная температура газа, K. Значения K_{0i} ионов различных ВВ приведены в литературе.

Основными преимуществами данного метода являются высокие чувствительность и быстродействие, а основным недостатком – низкая разрешающая способность. Поэтому при наличии в пробе химических веществ, не являющихся взрывчатыми, но схожих с ними по своим физико-химическим свойствам, высока вероятность, что спектрометр ионной подвижности (СИП) может вырабатывать ложноположительный сигнал «тревога». Частые срабатывания ложноположительного сигнала «тревога» существенно снижают эффективность поиска взрывчатых веществ.

В некоторых исследовательских работах были выявлены вещества, присутствие которых вызывало ложноположительный сигнал СИП. В работе [3] были изучены двенадцать косметических средств, четыре из которых вызывали сигнал «тревога», идентичный обнаружению ВВ. В исследовании [4] определили некоторые коммерческие продукты, оказывающие влияние на регистрацию взрывчатых веществ. В работах [5], [6] исследовали влияние коммерческих продуктов (двух напитков, увлажняющего крема и удобрения) на эффективность обнаружения ВВ. Из ста комбинаций «коммерческий продукт/ВВ» в 21-м случае СИП вырабатывал ложноположительный сигнал. В работе [7] сигнал СИП, вызываемый присутствием лимонной кислоты, был идентичен сигналу от взрывчатого вещества 2,6-динитротолуол – пики ионов, характеризуемых значениями K_0=1,43±0,02 и 1,43±0,01 см^2/(В·с) соответственно.

Так как человек в процессе своей жизнедеятельности тактильно взаимодействует со многими средствами, препаратами или предметами, на поверхности подлежащих контролю реальных объектов (поверхности окружающих предметов, руки человека или отпечатки его пальцев) возможно присутствие разнообразных веществ, в том числе, высока вероятность наличия остатков пищевых продуктов особенно плодоовощных культур. Основным компонентом в этих продуктах является вода, однако содержание органических кислот (ОК) в спелых плодах фруктов, ягод, овощей или соках на их основе может достигать нескольких процентов от общей массы. Большая часть приходится на лимонную, яблочную и винную кислоты. В меньших количествах могут присутствовать аскорбиновая, щавелевая, янтарная, молочная, бензойная, салициловая и другие кислоты.

Целью настоящей работы являлось определение типов органических кислот и их содержания в пробах, способных вызывать ложноположительные сигналы обнаружителя взрывчатых веществ на основе метода спектрометрии ионной подвижности.

Экспериментальная часть

Химические реактивы. Растворы динитронафталина (ДНН, смесь изомеров 1,5-ДНН (CAS 605-71-0) и 1,8-ДНН (CAS 602-38-0)), 1-метил-2,4-динитробензола (ДНТ, CAS 121-14-2), тетрила (CAS 479-45-8), 1,2,3-тринитроксипропана (ТНП, CAS 55-63-0), 2,4,6-тринитро-1,3-дигидроксибензола (ТНР, CAS 82-71-3), 2,4,6-тринитрометилбензола (ТНТ, CAS 118-96-7), октогена (CAS 2691-41-0) и гексогена (CAS 121-82-4) в ацетоне (1,0 ± 0,1)×10^{-2} г/см^3 с массовой долей примесей не более 4×10^{-4} % (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Россия); аскорбиновая кислота (АК, CAS 50-81-7, ХЧ), винная кислота (ВК, CAS 133-37-9, ЧДА), лимонная кислота (ЛК, CAS 77-92-9, ХЧ), салициловая кислота (СК, CAS 69-72-7, ХЧ), щавелевая кислота (ЩК, CAS 144-62-7, ХЧ), янтарная кислота (ЯнК, CAS 110-15-6, ХЧ) (ЛенРеактив, Россия); бензойная кислота (БК, CAS 65-85-0, Ч) (Вектон, Россия); молочная кислота (МК, CAS 50-21-5, 80-й % водный р-р) (Hugestone Enterprise Co., Ltd, Китай); яблочная кислота (ЯбК, CAS 6915-15-7, ХЧ) (Экспит, Россия); ацетон для хроматографии 99,85 % (CAS 67-64-1) (Компонент-Реактив, Россия); вода для инъекций (Новосибхимфарм, Россия).

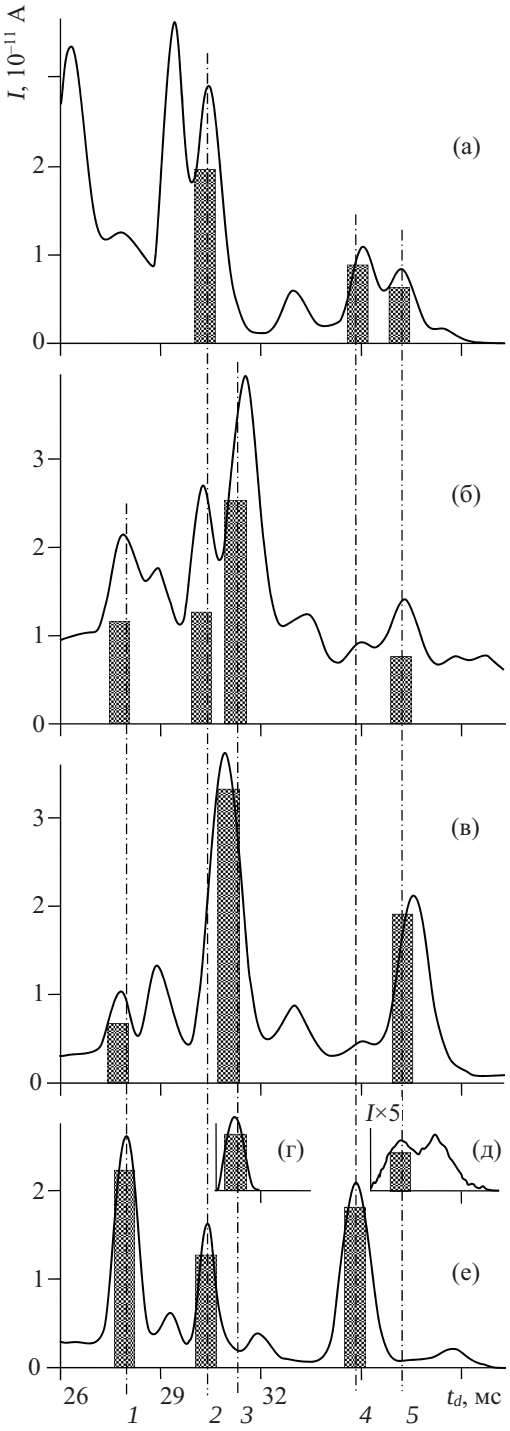
Аппаратура. Весы лабораторные XS 205 DU (Mettler Toledo, Швейцария). Салфетка для отбора твердой или жидкой пробы – фольга алюминиевая толщиной 14 мкм. Дозаторы Лайт 2-20 мкл и Лайт ДПОП-1-100-1000 (Thermo Fisher Scientific, USA). Ионно-дрейфовый детектор (ИДД) «Кербер-Т» (Атомпромкомплекс, Россия) на основе спектрометрии ионной подвижности подробно описан в [8, 9]. Параметры ИДД: температура камеры термодесорбции 180 °С; источник ионизации при атмосферном давлении на основе коронного разряда с импульсным источником питания; газ-носитель – лабораторный воздух (объёмная скорость 5 см^3/с, T = 180 °С, абсолютная влажность ≤ 12 г/м^3); l = 12 см; напряжение U = 2,2 кВ; дрейфовый газ – осушенный воздух (объёмная скорость 10 см^3/с, T = 100 °С, абсолютная влажность ≤ 0,1 г/м^3); используемое для формирования сигнала «тревога» стандартное отклонение времени дрейфа от реперного значения ±0,3 мс; уровень шумов электрометрической системы регистрации 0,375 пА (3 СКО – 25 ед. АЦП); уровни срабатывания сигнала «тревога» I_a = 3 пА (октоген), I_a = 4,5 пА (гексоген, тетрил, ТНП, ТНТ), I_a = 15 пА (ДНТ, ДНН) и I_a = 30 пА (ТНР). Приведенные подвижности ионов химических стандартов K_0(ТНТ) =1,47 см^2/(В·с) и K_0(ТНП) =1,290 см^2/(В·с) [8]. Время установления показаний t_s ≤ 6 с. Разрешающая способность, определяемая как отношение времени t_{di} ионного пика на спектре к ширине этого пика на половине высоты – 40-50.

Методика эксперимента. Используемые растворы готовили в день проведения экспериментов – ВВ в ацетоне с помощью дозаторов, ОК в воде с помощью весов лабораторных. Пробы мякоти различных плодов объёмом 2 мкл отбирали непосредственно перед анализом. С помощью дозатора в лабораторных условиях (температура 24–27 °С, относительная влажность 25–45 %, давление 1000–1017 гПа) пробы наносили на поверхность алюминиевой салфетки в виде пятна диаметром 4 мм. После нанесения проб растворов ВВ ожидали испарения ацетона ~10^2 с, а после нанесения проб растворов ОК или мякоти плодов ожидали испарения воды ~10^3 с и более. В экспериментах с отпечатками предварительно пальцем касались мякоти плода, растирали следы (несколько микролитров) по поверхности пальца, тщательно обтирали палец сухой бумажной салфеткой и наносили ОП на алюминиевую салфетку. Для проведения анализа салфетку помещали в камеру термодесорбции так, чтобы проба или ОП располагались вблизи входного отверстия. Регистрировали среднее время дрейфа t_{di} ионов, а также зависимость амплитуды (ионный ток) A_i пика этих ионов от времени пребывания салфетки в камере термодесорбции t_h. При совпадении времени дрейфа ионов какого-либо анализируемого вещества с временем дрейфа ионов какого-либо ВВ, хранящимся в базе данных, ИДД вырабатывал сигнал «тревога» с указанием типа ВВ.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 приведены фрагменты спектров подвижности ионов веществ, десорбируемых с алюминиевой салфетки: (а) высушенная в течение 15 мин смесь водных растворов винной (1 мкг), лимонной (1 мкг), щавелевой (0,6 мкг) и яблочной (0,2 мкг) кислот, t_h = 6 с; (б) высушенные в течение 15 минут 2 мкл мякоти черного винограда, t_h = 10 с; (в) отпечаток пальца после касания мякоти граната, обтирания пальца сухой бумажной салфеткой и хранения отпечатка на салфетке в течение 20 часов, t_h = 5 с; (г) ДНН 2 нг, t_h = 2 с; (д) октоген 10 мкг, t_h = 9 с (чувствительность ИДД увеличена в 5 раз); (е) смесь ДНТ, ТНТ и ТНП массами 20, 5 и 20 нг соответственно (t_h = 2 с). Заштрихованные столбцы – индикаторы сигнала «тревога»: высота – амплитуда регистрируемого тока ионов ВВ, ширина – возможное отклонение от реперного значения времени дрейфа ионов ВВ, хранящегося в базе данных.

Из рисунка видно, что, во-первых, органические кислоты, входящие в состав плодов, эффективно образуют отрицательные ионы, а во-вторых, подвижности некоторых типов ионов этих кислот, близки или совпадают с подвижностями ионов взрывчатых веществ, приводя к формированию сигнала «тревога». Этот сигнал вызывают как собственно остатки плодов, так и их остатки на пальцах рук или в ОП в потожировых отложениях человека. Причем время жизни остатков некоторых органических кислот в различных объектах велика и составляет, по крайней мере, десятки часов (рисунок 1 в).



(а) высушенная в течение 15 мин смесь водных растворов 1 мкг ВК, 1 мкг ЛК, 0,6 мкг ЩК и 0,2 мкг ЯК, t_h = 6 с;

(б) высушенные в течение 15 минут 2 мкл мякоти черного винограда, t_h =10 с;

(в) ОП после касания мякоти граната, обтирания пальца сухой бумажной салфеткой и хранения ОП на салфетке в течение 20 часов, t_h = 5 с;

(г) ДНН 2 нг, t_h = 2 с;

(д) октоген 10 мкг, t_h =9 с, чувствительность СИП увеличена в 5 раз (I×5);

(е) смесь ДНТ, ТНТ и ТНП массами 20, 5 и 20 нг соответственно (t_h = 2 с).

Столбцы – индикаторы сигнала «тревога»: высота – амплитуда ионного пика ВВ, ширина – стандартное отклонение от реперного значения, хранящегося в базе данных времени дрейфа ионов ВВ.

Обозначения: 1 – ДНТ, 2 – ТНТ, 3 – ДНН, 4 – ТНП, 5 – октоген.

Рисунок 1– Фрагменты спектров подвижности ионов веществ, десорбируемых с алюминиевой салфетки

В таблице 1 приведены результаты анализа отпечатков пальца на алюминиевой фольге после касания различных плодов (фруктов, ягод, овощей) этим пальцем и его тщательного обтирания сухой бумажной салфеткой, а в таблице 2 – результаты анализа 2 мкл содержимого мякоти плодов после их высушивания на алюминиевой фольге в течение 15–60 мин. Наличие в спектрах пиков, идентифицируемых устройством как пиков взрывчатых веществ, вызывающих сигнал «тревога», указано знаком (+).

Таблица 1

Результаты анализа отпечатков пальца после касания различных плодов этим пальцем и его тщательного обтирания сухой бумажной салфеткой

Отпечаток пальца после касания плода	Октоген	ТНП	ДНТ	ДНН	ТНТ
Грейпфрут, мандарин	+	+			+
Виноград	+	+	+	+	
Гранат, нектарин	+		+	+	
Банан, черника	+	+		+	
Брусника, слива, инжир, яблоко	+		+		
Арбуз, дыня, калина, клюква, огурец, помидор	+	+			
Лимон, облепиха		+			
Апельсин	+				

Из приведенных в таблице 1 данных видно, что из 20-и изученных разновидностей плодов в отпечатке пальца следовые количества 18-ти вызывают сигнал «тревога», идентифицируемый как «октоген», 13 – «ТНП», 7 – «ДНТ», 5 – «ДНН», 2 – «ТНТ». При анализе отпечатков пальца пик МК присутствовал во всех спектрах. Наиболее сложные спектры наблюдались при анализе ОП после касания плодов банана, дыни, инжира, винограда, нектарина и яблока. Для каждого из этих плодов в спектрах подвижности их ионов присутствовало только вызывающих сигнал «тревога» четыре пика, не считая других пиков. Наиболее простые спектры наблюдались для отпечатка после касания апельсина или облепихи. Помимо пиков фоновых ионов и пика МК при анализе следов апельсина спектр подвижности содержал идентифицированный как «октоген» пик, а при анализе следов облепихи – идентифицированный как «ТНП» пик.

Таблица 2

Результаты анализа 2 мкл содержимого мякоти плодов после их высушивания в течение 15–60 мин

Мякоть плода (2 мкл)	Октоген	ТНТ	ТНП	ДНН	ДНТ	гексоген	тетрил
Банан, дыня, инжир	+			+		+	+
Лимон			+		+	+	+
Виноград, нектарин	+	+		+	+		
Арбуз	+				+		
Клюква			+		+		
Яблоко	+	+	+	+			
Черника			+	+			

Мякоть плода (2 мкл)	Октоген	ТНТ	ТНП	ДНН	ДНТ	гексоген	тетрил
Гранат				+			
Грейпфрут, слива	+	+	+				
Огурец		+	+				
Облепиха, калина			+				
Помидор	+	+					
Апельсин, мандарин		+					
Брусника	+						

Спектры подвижности ионов при анализе следовых количеств содержимого мякоти плодов (таблица 2), как правило, включали много пиков. На некоторые из этих пиков при совпадении их времен дрейфа с временами дрейфа пиков ВВ устройство вырабатывало сигнал «тревога», например, рисунок 1 б. Достаточно простые спектры наблюдались для облепихи, клюквы и калины.

Как сказано во введении, при анализе следовых количеств различных плодов содержащаяся в них масса органических кислот может быть достаточной для появления в спектрах интенсивных ионных пиков. Кроме того, ввиду довольно обширного перечня ОК, которые могут находиться в следах, высока вероятность совпадения подвижностей ионов некоторых кислот с подвижностями ионов некоторых взрывчатых веществ. В таблице 3 приведена информация из различных литературных источников о типах отрицательных ионов ВВ и ОК, идентифицированных с помощью масс-спектрометра (где указано m/z), а также значения подвижностей K_0 этих ионов. В середине таблицы даны подвижности ионов ВВ и ОК, установленные в данной работе. Жирным шрифтом выделены значения K_0 ионов, вызывающих сигнал «тревога» ИДД «Кербер-Т». В спектрах доминирующими по амплитуде являлись пики ионов подвижностью K_0 (см^2/(В·с)): ДНТ – 1,60; ТНП – 1,29; ТНТ – 1,47; ТНР – 1,46; АК – 1,61; СК – 1,77. Амплитуда остальных пиков ионов в спектрах данных веществ была в пять и более раз меньше амплитуды указанных пиков. В спектрах октогена (рисунок 1 д), ЛК, МК и БК наблюдалось несколько пиков, амплитуды которых были сравнимы друг с другом. Соотношение амплитуд пиков ионов ЯбК, Вк и ЯнК зависело от их массы в пробе. На рисунке 2 показаны зависимости амплитуды ионных пиков ЯбК от времени пребывания в камере термодесорбции $A_i(t_h)$ салфетки, содержащей 0,1 мкг или 0,4 мкг этого вещества. Из рисунка следует, что при массе в пробе ЯбК 0,1 мкг в спектре доминирующим является пик ионов подвижностью K_0=1,85 см^2 /(В·с), а пик ионов K_0=1,29 см^2 /(В·с) меньше в два и более раза. В то же время при массе ЯбК 0,4 мкг в первые секунды в спектре основным является пик ионов подвижностью K_0=1,85 см^2 /(В·с). По прошествии 1–2 секунд появляется и становится доминирующим пик ионов K_0=1,29 см^2 /(В·с), а пик ионов K_0=1,85 см^2 /(В·с) уменьшается. В спектре между данными пиками наблюдалась перемычка выше базовой линии, вероятно обусловленная распадом ионов K_0=1,29 см^2 /(В·с) при движении в дрейфовой камере и превращением их в другой тип ионов K_0=1,85 см^2 /(В·с). Далее вследствие вымывания по мере уменьшения концентрации паров ЯбК в камере ионизации пик ионов K_0=1,29 см^2 /(В·с) уменьшается, а пик ионов K_0=1,85 см^2 /(В·с) опять становится основным, постепенно спадая со временем. Описанные выше эффекты типичны для ионной пары мономер-димер. Такое же поведение «мономер-димер» демонстрировали пики ионов ВК подвижностью K_0=1,79 и 1,24 см^2 /(В·с) и ЯнК K_0=1,87 и 1,34 см^2 /(В·с).

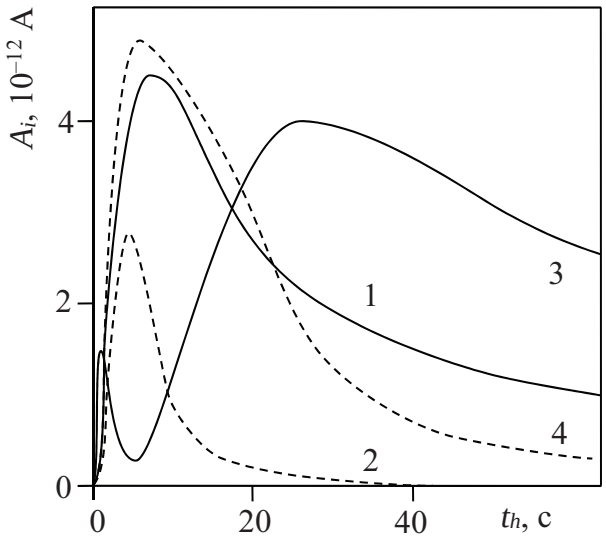


Рисунок 2 – Зависимости амплитуды ионных пиков ЯбК от времени пребывания в камере термодесорбции Ai (th) салфетки, содержащей это вещество массой: 0.1 мкг (1) и (2); 0.4 мкг (3) и (4). Ионы приведенной подвижностью K_0=1.85 и 1.29 см²/(В·с) – сплошная и пунктирная линии соответственно

Таблица 3

Типы отрицательных ионов ВВ и ОК или полярность, а также значения подвижностей K_0 этих ионов из различных литературных источников и установленные в данной работе

Взрывчатые вещества					Органические кислоты				
тип иона ВВ	*m/z*	K_0, см²/(В с)	ссылка	[1] K_0, см²/(В·с), данная работа		тип иона или полярность ОК	*m/z*	K_0, см²/(В с)	ссылка
[ДНТ–Н]⁻	181	1,67		ДНТ, **1,60**	АК, **1,61**	[АК–Н]⁻	175,02		[15]
					ЛК, 1,64; **1,60**	ЛК, (–)		1,43	[7]
[ДНТ–Н]⁻	181	1,68	[10]			[ЛК–Н]⁻	191,02		[15]
[ТНП+NO_3]⁻	289	1,5	[10]	ТНП, **1,29**	ЯбК, 1,85; **1,29**	[ЯбК–Н]⁻	133,01		[15]
[ТНП+NO_3]⁻	289	1,37	[11]						
[Октоген+NO_3]⁻	358	1,25	[12]	Октоген, **1,24**; 1,21	ВК, 1,79; **1,24**	[ВК–Н]⁻	149,01		[15]
						[2] [ВК–Н]⁻		1,72	[16]
						[2] [$ВК_2$–Н]⁻		1,18	
[ТНТ–Н]⁻	226	1,54	[10]	ТНТ, 1,53; **1,47**; 1,40	ЩК+ЯбК, 2,17; 1,68; **1,47**; **1,29**				
[ТНТ–Н]⁻	226	1,53							

Взрывчатые вещества					Органические кислоты				
тип иона ВВ	*m/z*	K_0, см²/(В с)	ссылка	[1] K_0, см²/(В·с), данная работа		тип иона или полярность ОК	*m/z*	K_0, см²/(В с)	ссылка
				ТНР, **1,46**					
[Гексоген +NO_2]⁻	268	1,49	[13]	Гексоген + МК, 1,39; 1,34; **1,21**	ЛК+ЯбК, **1,60**; **1,29**; 1,20-**1,21**				
[Гексоген +NO_3]⁻	284	1,436							
[Гексоген+МК–H]⁻	311		[14]						
[Гексоген +NO_2]⁻	268								
					МК, 1,53; 1,51	[МК–H]⁻	89,02		[15]
						МК, (–)		1,524	[8, 9]

[1] – жирным шрифтом выделены подвижности ионов, вызывающих сигнал «тревога» СИП;
[2] – в работе тип ионов определили на основе расчётов;
[3] – K_0 в азоте предположительно пика ионов [СК–H]⁻ (химический стандарт K_0(ТНТ) = 1,52 см²/(В с)).

При анализе пробы, содержащей гексоген и молочную кислоту, доминирующим являлся пик ионов подвижностью K_0=1,21 см² /(В·с). При анализе проб, содержащих смеси ЩК+ЯбК или ЛК+ЯбК, пики ионов подвижностью K_0=1,47 или 1,21 см² /(В·с) появлялись только при значительных массах в пробе обоих ингредиентов. Это может свидетельствовать о том, что эти вещества образуют аддукт-анионы.

Основные выводы по качественному составу ионов, которые можно сделать из таблицы 3, рисунка 2 и описанных экспериментальных данных, заключаются в следующем (М – молекула вещества):

- из масс-спектрометрических данных следует, что при ионизации в воздухе ДНТ и ТНТ доминирующим типом ионов являются депротонированные молекулы [М–H]⁻, ТНП и октогена – аддукт-анионы [М+NO_3]⁻, гексогена – аддукт-анионы [М+NO_2]⁻ и [М+NO_3]⁻, а в присутствии паров гексогена и молочной кислоты (МК) – аддукт-анионы [М+МК–H]⁻;
- из масс-спектрометрических данных следует, что при ионизации в воздухе основным типом ионов, образуемым ОК, являются депротонированные молекулы [М–H]⁻, некоторые кислоты эффективно образуют димерные анионы [M_2–H]⁻ [16];
- несмотря на то, что значения подвижностей K_0 ионов ВВ и ОК по абсолютным величинам в опубликованных работах и в данной работе для одноименных веществ несколько отличаются друг от друга, отношения между подвижностями ионов для различных веществ очень близки, например, K_0(ТНТ)/K_0(ТНП) = = 1,54/1,35 = 1,141 [10] практически совпадает (<0,1 %) с отношением K_0(ТНТ)/K_0(ТНП) = 1,47/1,290 = 1,140, полученным в данной работе;
- на основании информации из различных литературных источников и представленных экспериментальных данных можно предположить, что в регистрируемых нами спектрах доминирующие пики сформированы следующими типами ионов с

соответствующими подвижностями (K_0, см²/(В·с): [ДНТ–Н]⁻ – 1,60; [ТНП+NO_3]⁻ – 1,29; [ТНТ–Н]⁻ – 1,47; [Гекс+МК–Н]⁻ (гексоген в присутствии МК) – 1,21; [АК–Н]⁻ – 1,61; [ЯбК–Н]⁻ – 1,85; [Я$бК_2$–Н]⁻ – 1,29; [ВК–Н]⁻ – 1,79; [В$К_2$–Н]⁻ – 1,24; [ЯнК–Н]⁻ – 1,87; [Ян$К_2$–Н]⁻ – 1,34 (образование предполагаемых типов ионов ВВ и ОК, обусловлено предполагаемым составом реактант-ионов, типичным для ионизации в воздухе при атмосферных условиях, в том числе в коронном разряде: высокая концентрация ионов O_2^-, NO_2^- и небольшая концентрация ионов NO_3^-, CO_3^- [13]);

– ионы ОК или их смесей, наличие которых в спектре вызывало сигнал «тревога», идентифицировались как ионы ВВ подвижностью K_0 (см²/(В·с)): АК (1,61) или ЛК (1,60) – ДНТ (1,60), ЯбК (1,29) – ТНП (1,29), ВК (1,24) – октоген (1,24), ЩК+ЯбК (1,47 и 1,29) – ТНТ (1,47) и ТНП (1,29), ЛК+ЯбК (1,60, 1,29 и 1,21) – ДНТ (1,60), ТНП (1,29) и гексоген+МК (1,21);

– при высокой интенсивности ионов ЯбК K_0 = 1,29 см²/(В·с) образующиеся при анализе смеси ЛК+ЯбК аддукт-анионы K_0 = 1,20 см²/(В·с) не вызывали сигнал «тревога», однако по мере уменьшения интенсивности ионов ЯбК подвижность аддукт-анионов ЛК+ЯбК возрастала до K_0 = 1,21 см²/(В·с), что приводило к выработке сигнала «тревога» гексоген+МК K_0 = 1,21 см²/(В·с);

– пики ионов, образуемых бензойной, молочной, салициловой, щавелевой и янтарной кислот, сигнал «тревога» не вызывали.

Следует отметить, что присутствие некоторых ОК хоть и вызывало сигнал «тревога», времена дрейфа ионов этих веществ несколько отличались от времен дрейфа ионов соответствующих ВВ. В частности, экспериментально установлено, что разница времен дрейфа ионов таких ВВ и ОК (для каждой пары при идентичных атмосферных условиях) составила: t_d(ДНТ) – t_d(АК) = 0,18±0,05 мс; t_d(ТНР) – t_d(ЩК+ЯбК) = 0,20±0,05 мс; t_d(ЯбК) – t_d(ТНП) = = 0,15±0,05 мс; t_d(ЛК+ЯбК) – t_d(гексоген+МК) = 0,30±0,13 мс. Для остальных пар ВВ и ОК значения t_d в пределах ошибки определения ±0,05 мс. Необходимо также упомянуть, что наличие интенсивных пиков может вызывать смещение близкорасположенных к ним других ионных пиков вследствие кулоновского расталкивания. Величина смещения может достигать ~ 0,2 мс.

Содержание органических кислот в пробе, вызывающее ложноположительные сигналы. Регистрировали зависимости амплитуды вызывающих ложноположительный сигнал пиков ионов от времени пребывания салфетки t_h в камере термодесорбции для различных масс ОК в пробе. Определено, что наличие в пробе массы ≥ 1 мкг аскорбиновой или ≥ 2 мкг лимонной кислоты, ≥ 0,15 мкг яблочной кислоты, ≥ 0,2 мкг винной кислоты, смеси ≥ 0,2 мкг яблочной и ≥ 0,2 мкг щавелевой кислот, а также смеси ≥ 0,3 мкг лимонной и ≥ 0,3 мкг яблочной кислот вызывали ложноположительные сигналы, характеризуемые превышениями уровней срабатывания сигнала «тревога» I_a = 15 пА (ДНТ), I_a = 4,5 пА (ТНП), I_a = 3 пА (октоген), I_a = 4,5 пА (ТНТ) и I_a = 4,5 пА (гексоген) соответственно.

Некоторые значения содержания органических кислот в реальных объектах обследования. Анализ проб показал, что в 2-х мкл высушенной мякоти:

– клюквы, облепихи или калины содержание яблочной кислоты может существенно превышать 1 мкг;

– лимона содержание яблочной кислоты может достигать 1 мкг, а лимонной кислоты существенно превышать эту величину;

– спелого винограда содержание винной кислоты может достигать 1 мкг.

Данные из представленных выше примеров хорошо согласуются с результатами исследований других авторов (см. введение), где использованы другие методы анализа.

После касания пальцем плодов, тщательного обтирания пальца сухой бумажной салфеткой, нанесения отпечатка на алюминиевую фольгу и его анализа было установлено, что:

- в ОП после касания пальцем мякоти клюквы или облепихи содержание яблочной кислоты может превышать 0,5 мкг;
- в ОП после касания пальцем мякоти спелого винограда содержание винной кислоты может достигать 1 мкг.

Содержание в отпечатке и амплитуда ионных пиков в спектре для указанных ОК после касаний данных видов плодов были превалирующими, поэтому не вызвали больших трудностей в их определении. Содержание органических кислот в отпечатке после касания других плодов не удалось интерпретировать вследствие более сложного ионного состава их спектров и более сильного взаимовлияния различных ОК, в том числе молочной кислоты, содержащейся в потожировых отложениях отпечатка.

Таким образом, содержание органических кислот в реальных объектах обследования может кратно превышать предельно малое содержание органических кислот в пробе, вызывающее ложноположительные сигналы.

Таким образом, исследовано 20 разновидностей различных плодов (фруктов, ягод, овощей), следовые количества которых в пробе приводят к формированию ложноположительных сигналов обнаружителя взрывчатых веществ на основе метода спектрометрии ионной подвижности. Показано, что эти сигналы обусловлены наличием в составе плодов органических кислот, эффективно образующих отрицательные ионы. Подвижности некоторых типов ионов органических кислот, близки или совпадают с подвижностями ионов взрывчатых веществ (K_0, см^2/(В·с)): АК (1,61) или ЛК (1,60) с ДНТ (1,60); ЯбК (1,29) с ТНП (1,29); ВК (1,24) с октоген (1,24), ЩК+ЯбК (1,47 и 1,29) с ТНТ (1,47) и ТНП (1,29); ЛК+ЯбК (1,60; 1,29 и 1,21) с ДНТ (1,60), ТНП (1,29) и гексоген+МК (1,21). Хотя ионизационные эффективности регистрации взрывчатых веществ примерно на порядок выше, чем органических кислот, содержание последних в реальных объектах обследования может на 2–3 порядка превышать пределы обнаружения соответствующих ВВ, часто вызывая ложноположительные сигналы «тревоги» и существенно снижая эффективность поиска.

Необходимо также отметить, что сигнал «тревога» могут вызывать не только представленные в данной работе органические кислоты, но и другие содержащиеся в плодах вещества, например, хинная или фумаровая кислоты, фенолы и т.п.

При оперативном поиске следовых количеств ВВ одним из возможных путей снижения частоты ложноположительных сигналов, вызванных присутствием ОК, является повышение разрешающей способности СИП.

Список литературы

1. ***Stellman J.M.*** Encyclopaedia of occupational health and safety. 4th edition. Geneva: International Labour Office, 1998. V. 4. P. 104.334–104.348.
2. Transfer of Nitroglycerine to Hands During Contact with Commercial Explosives / J.D. Twibell, J.M. Home, K.W. Smalldon, D.G. Higgs // J. Forensic Sci. – 1982. – V. 27, No 4. – P. 783–791.

3. *Kanu A.B.* Rapid preseparation of interferences for ion mobility spectrometry / A.B. Kanu, C. Wu, H. H. Jr. Hill // Anal. Chim. Acta. – 2008. – V. 610. – P. 125–134.

4. Tandem ion mobility spectrometry at ambient pressure and field decomposition of mobility selected ions of explosives and interferences / U. Chiluwal, G. Lee, M.Y. Rajapakse, T. Willy, S. Lukow, H. Schmidt, G.A. Eiceman // Analyst. – 2019. – V. 144, No. 6. – P. 2052–2061.

5. *Cook G.W.* Improving Ion Mobility Spectrometry Detection Methods for Trace Forensics and Military Field Applications: diss. ... PhD. Bethesda: The Uniformed Services University of the Health Sciences, 2006. – 117 p.

6. Using Gas Chromatography with Ion Mobility Spectrometry to Resolve Explosive Compounds in the Presence of Interferents / G.W. Cook, P.T. LaPuma, G.L. Hook, B.A. Eckenrode // J. Forensic Sci. – 2010. – V. 55, No. 6. – P. 1582–1591.

7. Method validation parameters for drugs and explosives in ambient pressure ion mobility spectrometry / V. Sedwick, M. Massey, T. Codio, A.B. Kanu // Int. J. Ion Mobil. Spec. – 2017. – V. 20. – P. 75-86.

8. *Головин А.В.* Спектрометр ионной подвижности с источником ионизации на основе импульсного коронного разряда: дис. ... канд. техн. наук. – М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2010. – 196 с.

9. *Громов Е.А.* Система регистрации и управления спектрометрическим каналом двухполярного спектрометра ионной подвижности: дисс. ... канд. техн. наук. – М.: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2018. – 160 с.

10. Gas phase ion chemistry of an ion mobility spectrometry based explosive trace detector elucidated by tandem mass spectrometry / J. Kozole, L.A. Levine, J. Tomlinson-Phillips, J. R. Stairs // Talanta. – 2015. – V. 140. – P. 10-19.

11. *Waltman M.J.* Atmospheric pressure chemical ionization sources used in the detection of explosives by ion mobility spectrometry. diss. ... PhD. Socorro: New Mexico Tech., 2010. – 81 p.

12. Analysis of explosives using corona discharge ionization combined with ion mobility spectrometry-mass spectrometry / J. Lee, S. Park, S.G. Cho, E.M. Goh, S. Lee, S.-S. Koh, J. Kim. // Talanta. – 2014. – V. 120. – P. 64–70.

13. *Ewing R.G.* Mechanisms for negative reactant ion formation in an atmospheric pressure corona discharge / R.G. Ewing, M.J. Waltman // Int. J. Ion Mobil. Spec. – 2009. – V. 12. – P. 65–72.

14. *Takada Y.* Mass spectrometry in homeland security. Mass Spectrometry Handbook / Ed. Lee M.S. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. – P. 477.

15. Leaf Spray: Direct Chemical Analysis of Plant Material and Living Plants by Mass Spectrometry / J. Liu, H. Wang, R.G. Cooks, Z. Ouyang // Anal. Chem. – 2011. – V. 83. – P. 7608–7613.

16. *Valadbeigi Y.* Small Host–Guest Systems in the Gas Phase: Tartaric Acid as a Host for both Anionic and Cationic Guests in the Atmospheric Pressure Chemical Ionization Source of Ion Mobility Spectrometry / Y. Valadbeigi, S. Azizmohammadi, V. Ilbeigi // J. Phys. Chem. A. – 2020. – V. 124, №. 17. – P. 3386–3397.

4.5 Итоги радиоэкологического мониторинга в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

Е.Б. Панкина, М.П. Глухова, Д.Р. Итыгина

В целях реализации экологической политики предприятия выполнен большой объём работ по проведению экологического мониторинга выбросов, сбросов и объектов природной среды в районе расположения ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Радиоэкологический комплекс автоматизированных и лабораторных методов и средств измерений, функционирующий в НИТИ, позволяет оперативно и детально проводить мониторинговые наблюдения за изменением радиационного состояния природной среды, включая оценку глобального уровня загрязнения, для ранней диагностики отклонений от нормальной работы стендовых установок НИТИ. В сочетании с расчётными методами оценки радиационных доз и риска технико-методическое обеспечение автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) НИТИ становится важным инструментом для принятия решений в случае развития аварийных ситуаций. Технические средства нижнего уровня АСКРО, размещенные на территории НИТИ, включают восемь постов радиационного контроля мощности амбиентного эквивалента дозы фотонного излучения (МАЭД), пост радиационного контроля воды, передвижную радиологическую лабораторию, четыре поста радиационного контроля атмосферного воздуха и метеостанцию. Из восьми постов контроля МАЭД (датчики УДБГ-01-02) на четырёх постах дополнительно установлены датчики АСРКБ1У.14-01 по контролю МАЭД от аэрозольных фильтров, размещенных на вентиляционно-фильтрующих установках (ВФУ) внутри домиков.

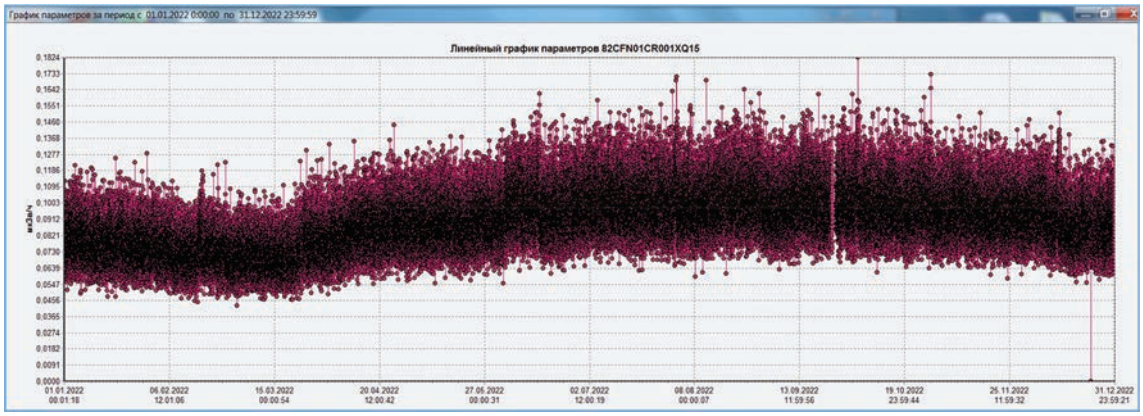
Комплексный пост 3 АСКРО НИТИ радиационного контроля МАЭД и атмосферного воздуха (врезка – ВФУ)

Технические средства верхнего уровня позволяют выводить информацию на дисплей в табличном или графическом виде и экспортировать данные в различные форматы за любой промежуток времени. Данные АСКРО по контролю радиационной обстановки регулярно поступают на внешний уровень. В 2022 году в Ситуационно-кризисный центр Росатома

в непрерывном режиме передавались значения МАЭД с восьми постов АСКРО и метеопараметров с метеостанции МК-14-1.

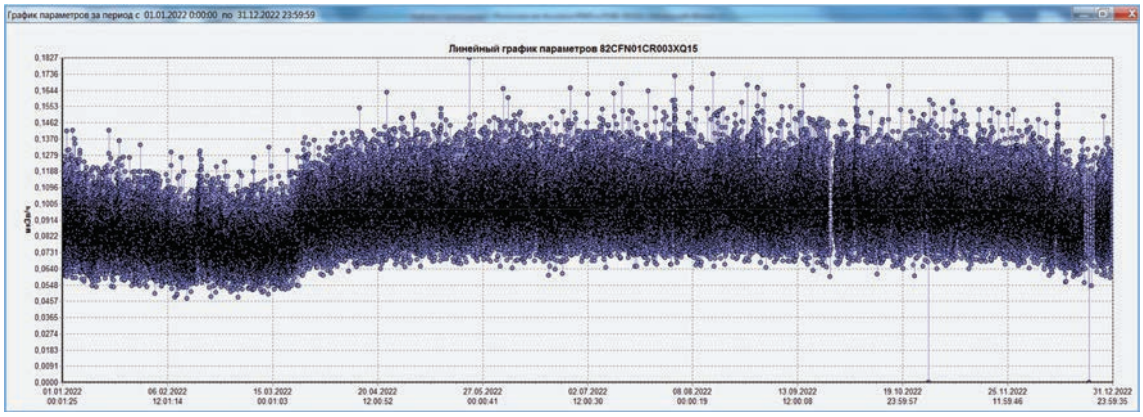
В течение года ежедневно анализировалась суточная информация (с 9^{30} предыдущих суток по 9^{30} текущих суток), поступающая со всех средств нижнего уровня АСКРО в радиоэкологическую лабораторию. Организовано ведение суточного журнала эксплуатации и технического обслуживания АСКРО, в котором фиксируются все режимы работы системы.

Работа постов АСКРО дает оперативную информацию о радиационной обстановке на промплощадке НИТИ по каналам измерения МАЭД. Их выходные данные в 2022 году показаны на примере динамики значений МАЭД, поступающих с постов 1 и 3 на центральный пульт контроля (ЦПК) и сопряженные с ЦПК вэб-сайты АСКРО НИТИ (рисунок 1, 2).



	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Мин.	0,050	0,050	0,050	0,050	0,055	0,055	0,062	0,059	0,063	0,061	0,058	0,056
Макс.	0,128	0,123	0,130	0,144	0,138	0,162	0,163	0,172	0,162	0,182	0,151	0,151
Сред.	0,078	0,073	0,073	0,085	0,090	0,097	0,101	0,102	0,101	0,100	0,096	0,091
Кол-во	13040	11224	12083	13462	14633	15609	16588	16783	15248	16503	15339	14443

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



	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.
Мин.	0,054	0,050	0,050	0,060	0,065	0,060	0,065	0,065	0,059	0,060	0,064	0,054
Макс.	0,142	0,130	0,138	0,163	0,183	0,166	0,168	0,174	0,167	0,167	0,158	0,156
Сред.	0,085	0,079	0,082	0,096	0,010	0,100	0,101	0,101	0,100	0,100	0,099	0,093
Кол-во	14149	12078	13690	15168	16227	15553	16116	16099	14657	15952	15286	13320

Рисунок 2 – Годовая динамика МАЭД на территории поста 3 АСКРО НИТИ, мкЗв/ч

Основной массив значений МАЭД на всех постах АСКРО НИТИ находился в пределах 0,05 – 0,22 мкЗв/ч и был ниже контрольного уровня 0,5 мкЗв/ч. В результате анализа радиационной обстановки за год рассчитаны средние значения МАЭД на территориях восьми постов АСКРО (таблица 1).

Таблица 1

Диапазон и средние значения МАЭД на промплощадке НИТИ в 2022 году

Номер поста АСКРО НИТИ	Количество измерений	Мощность дозы, мкЗв/ч		
		Минимум	Максимум	Среднее
Пост 1	174955	0,050	0,182	0,090 ± 0,018
Пост 2	162477	0,050	0,157	0,084 ± 0,017
Пост 3	178294	0,050	0,183	0,095 ± 0,019
Пост 4	183889	0,057	0,164	0,098 ± 0,020
Пост 5	191242	0,063	0,244	0,106 ± 0,021
Пост 6	53881	0,050	0,220	0,096 ± 0,019
Пост 7	56675	0,050	0,168	0,094 ± 0,019
Пост 8	193325	0,050	0,177	0,098 ± 0,020

Средние за 2022 год значения МАЭД на промплощадке НИТИ находились в пределах от 0,084 до 0,11 мкЗв/ч, что характерно для гамма-фона нашей зоны наблюдения, сформированного активностью радионуклидов природного происхождения, и свидетельствует о благоприятной радиационной обстановке на контролируемой территории.

Радиационный контроль воздушной среды на промплощадке НИТИ осуществляется системой автоматизированного радиационного контроля атмосферного воздуха. Система установлена на четырёх комплексных постах и обеспечивает автоматический отбор проб аэрозолей воздуха и сбор атмосферных выпадений с последующим их анализом в лабораторных условиях. Эксплуатация постов контроля воздушной среды АСКРО дополнительно сопровождается автоматическими измерениями МАЭД от фильтров, на которых накапливаются аэрозоли, с помощью датчиков АСРКБ1У.14-01.

В конце 2022 года системой АСКРО было зафиксировано кратковременное повышение уровней значений МАЭД по отношению к основному массиву данных. На территории предприятия в плановом порядке проводилась калибровка датчиков АСРКБ1У.14-01 на постах контроля атмосферного воздуха с применением радионуклидных источников (рисунок 3).

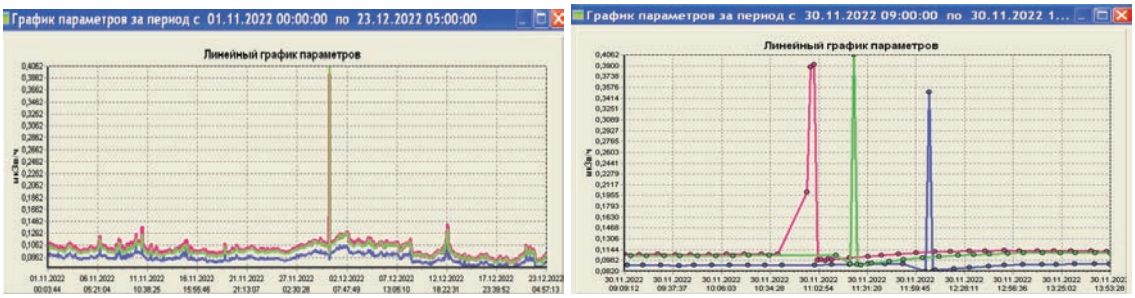


Рисунок 3 – Динамика МАЭД на постах радиационного контроля атмосферного воздуха в период проведения работ по калибровке датчиков АСРКБ1У.14-01 с применением радионуклидных источников

Как показывает анализ радиационной обстановки на территории НИТИ за годы работы АСКРО (более 10 лет) уровни МАЭД от аэрозолей всегда хорошо согласуются с диапазоном значений МАЭД, регистрируемых датчиками УДБГ-01-02, размещенными на мачтах на территории восьми постов АСКРО.

Анализ значений мощности доз, поступающих с постов АСКРО в течение 2022 года, показал отсутствие какого-либо влияния эксплуатации стендовых установок НИТИ на радиационную обстановку территории промышленной площадки предприятия. Благоприятная радиационная обстановка в районе расположения НИТИ подтверждена сравнительным анализом данных АСКРО НИТИ и АСКРО Ленинградской атомной станции (таблица 2).

Таблица 2

МАЭД в зоне наблюдения НИТИ по данным АСКРО ЛАЭС в 2022 году

Пост контроля	Направление	Расстояние, км	Количество измерений	Мощность дозы, мкЗв/ч		
	от выбросной трубы НИТИ			минимум	максимум	среднее
р. Воронка	ЮЗ	3,6	48817	0,05	0,14	0,069 ± 0,014
Сад-во «Энергетик»	СВ	5,5	48750	0,05	0,16	0,080 ± 0,016
Сброс 1 очереди ЛАЭС	С	3,2	47512	0,08	0,22	0,115 ± 0,023
Сброс 2 очереди ЛАЭС	СЗ	1,5	48466	0,12	0,19	0,140 ± 0,028
г. Сосновый Бор (Фос-1)	ССВ	6,6	48152	0,08	0,14	0,100 ± 0,020
п. Копорье	Ю	14,2	46492	0,07	0,12	0,090 ± 0,018
п. Шепелево	С	15,6	46594	0,08	0,12	0,097 ± 0,019
оз. Копанское	ЗЮЗ	18,3	48706	0,15	0,21	0,158 ± 0,032
п. Лопухинка	ЮВ	23,0	46572	0,11	0,15	0,128 ± 0,026
п. Б. Ижора	СВ	31,6	46644	0,05	0,31	0,100 ± 0,020
п. Бегуницы	ЮЮВ	30,8	46613	0,06	0,13	0,094 ± 0,019
п. Котельский	ЮЮЗ	32,0	46585	0,08	0,13	0,105 ± 0,021

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

Радиационный мониторинг воздушной среды

Природными объектами контроля воздушной среды в санитарно-защитной зоне НИТИ являются: приземный слой атмосферного воздуха и атмосферные выпадения, включая снежный покров.

Атмосферный воздух

В 2022 году в составе АСКРО НИТИ стабильно работали все посты радиационного контроля воздушной среды – посты 2, 3, 6 и 8. Непрерывные отборы проб аэрозолей атмосферного воздуха на промплощадке НИТИ осуществлялись на фильтры ФПП-15-1,5 площадью 0,63 м^2. Замена фильтров осуществлялась в последних числах каждого месяца.

В аэрозолях приземного слоя атмосферного воздуха на территории НИТИ с высокой частотой обнаружения присутствовали радионуклиды коррозионного происхождения: ^{137}Cs, ^{60}Co и ^{54}Mn. Максимальные уровни активности ^{137}Cs и ^{54}Mn зарегистрированы на посту 6 АСКРО в июле, ^{60}Co – на всех постах промплощадки НИТИ в мае 2022 года (рисунок 4). Из четырёх постов самый «чистый» атмосферный воздух по количеству и активности радионуклидов наблюдался около поста 2, который расположен с наветренной стороны технологических зданий НИТИ и предприятий атомно-промышленного комплекса (АПК) города Сосновый Бор.

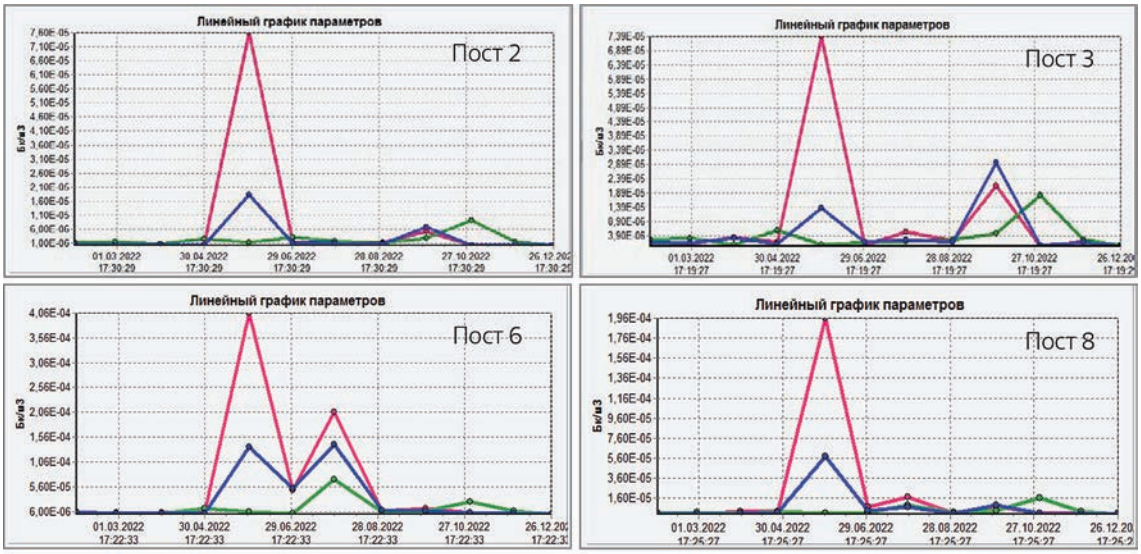


Рисунок 4 – Динамика объёмной активности радионуклидов
^{60}Co (красный), ^{54}Mn (синий) и ^{137}Cs (зеленый) на постах АСКРО в 2022 году

Из анализа данных 2022 года (рисунок 5) следует, что на территории НИТИ максимальное содержание радионуклидов в атмосферном воздухе, регистрируемое системой АСКРО НИТИ на 5– 8 порядков ниже величин соответствующих $ДОА_{НАС}$, установленных НРБ-99/2009. С этой точки зрения наиболее значимым из обнаруженных радионуклидов являются кобальт-60 и скандий-46.

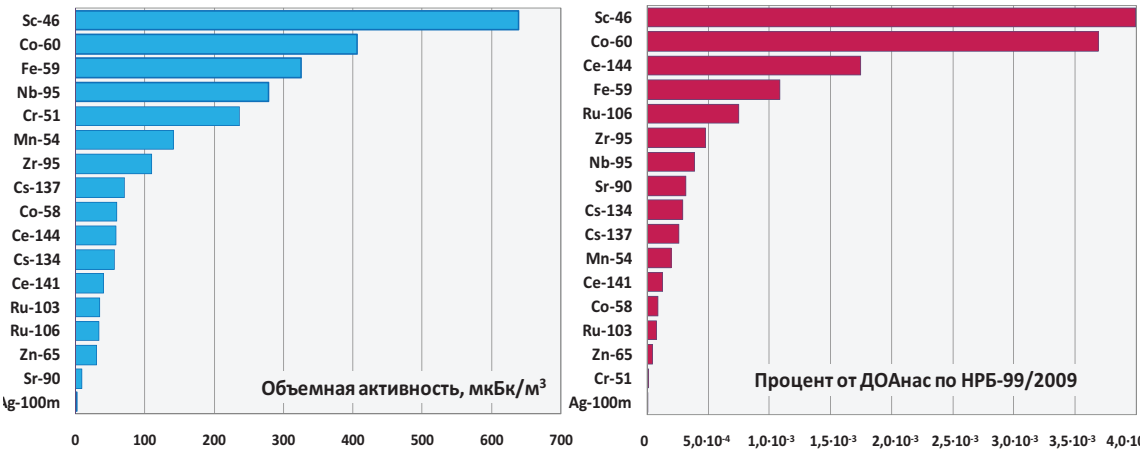


Рисунок 5 – Максимальная объёмная активность радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха на постах АСКРО НИТИ и их значимость относительно $ДОА_{нас}$ по НРБ-99/2009

Максимальные уровни активности радионуклидов регистрировались в течение года на посту 6, который находится на границе с предприятиями АПК г. Сосновый Бор, выполняющими сбор, переработку и хранение радиоактивных отходов. Максимальная объёмная активность радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха зарегистрирована в мае для ^{46}Sc (640 мкБк/м^3) и ^{60}Co (410 мкБк/м^3) – тысячные доли % от $ДОА_{НАС}$.

По данным гамма-спектрометрического анализа изотопы йода в аэрозолях атмосферного воздуха не обнаружены, что свидетельствует о высокой эффективности фильтров очистки газо-аэрозольных выбросов на предприятиях АПК. Низкие уровни объёмной активности радионуклидов в атмосферном воздухе в 2022 году, дополняя мониторинг МАЭД, свидетельствуют о благополучном радиационном состоянии воздушной среды на территории НИТИ.

Атмосферные выпадения

Сбор атмосферных выпадений (осадков) на 4 постах АСКРО осуществлялся непрерывно в ёмкость, расположенную в каждом домике поста через воронку площадью 0,25 м^2. В зимние месяцы атмосферные выпадения накапливались в высокой кювете аналогичной площади. Съём пробы выполнялся в конце каждого месяца. В случае более раннего заполнения ёмкостей осадками, проводилась их декантация в канистры, и объёмы осадков объединялись за месяц.

Район города Сосновый Бор относится к зоне повышенного увлажнения. Годовое количество осадков, выпавших на территории НИТИ в 2022 году, составило 640 мм/год. Эти данные сравнимы с данными Ломоносовской гидрометеорологической станции, которая находится от НИТИ на расстоянии около 40 км. Количество осадков по Ломоносовской УГМС составило 628 мм/год (рисунок 6).

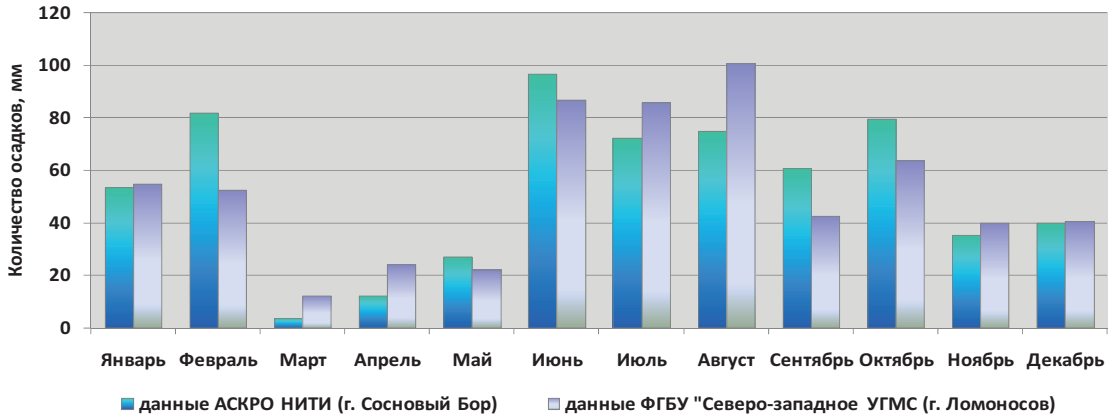


Рисунок 6 – Количество атмосферных осадков, выпавших в Ленинградской области за 2022 год

Оценка радиационного состояния атмосферных выпадений проводилась по уровню суммарной бета-активности, содержанию трития, гамма-излучающих радионуклидов (^{137}Cs) и ^{90}Sr. Плотность радиоактивных выпадений ^{137}Cs в 2022 году не превышала 0,10 Бк/м^2 в месяц, плотность радиоактивных выпадений ^{90}Sr – 0,14 Бк/м^2 в месяц.

Объёмная активность трития в атмосферных выпадениях в течение 2022 года на всех постах в основном была ниже НПИ (< 10 Бк/дм^3), кроме атмосферных выпадений на посту 6 в апреле и ноябре с максимальным содержанием 0,26 % от УВ для питьевых вод по НРБ-99/2009.

Снежный покров

В феврале 2022 года в четырёх точках контроля были отобраны сезонные пробы снега с площади от 3 до 5 квадратных метров. Условный период снеголежания длился с конца ноября 2021 года по середину февраля 2022 года. Результаты контроля приведены в таблице 3.

Таблица 3

Плотность поверхностного радионуклидного загрязнения снега

Пункт отбора	Дата отбора	Площадь отбора, м^2	Активность, Бк/м^2			
			∑β-активность	^{137}Cs	^{90}Sr	^{3}H
НИТИ	09.02.2022	3,0	5,52 ± 0,86	0,32 ± 0,08	0,17 ± 0,07	1000 ± 300
г. Сосновый Бор	18.02.2022	5,0	3,96 ± 0,63	0,19 ± 0,06	0,18 ± 0,07	< 210
ЛО ФГУП «ФЭО»	18.02.2022	3,0	5,81 ± 0,65	0,35 ± 0,11	0,10 ± 0,04	480 ± 120
д. Лопухинка	24.02.2022	4,0	2,26 ±0,48	0,14 ± 0,07	0,08 ± 0,03	280 ± 70

Плотность загрязнения снежного покрова ^{137}Cs за сезон составила в среднем 0,25 Бк/м^2, ^{90}Sr – 0,13 Бк/м^2. Объёмная активность трития в отобранных пробах снега находилась в диапазоне от НПИ (10 Бк/кг) до 30 Бк/кг (0,4 % от УВ по НРБ-99/2009).

Выбросы радионуклидов в атмосферный воздух

НИТИ при контроле и регулировании выбросов радиоактивных веществ в атмосферу руководствовался Разрешением № СЕ-ВРВ-210-67 на выброс радиоактивных веществ в атмосферный воздух, выданным СЕ МТУ Ростехнадзора. Срок его действия до 27.02.2027. В 2022 году выбросы радиоактивных веществ в атмосферу от заявленной деятельности Института были существенно ниже значения допустимого норматива выброса (ДВ, 1,48·10^{16} Бк/год) и составили не более 2,19·10^{13} Бк. Основной вклад в активность выброса НИТИ приходился на инертные радиоактивные газы (ИРГ), годовая активность аэрозолей составила 4,15·10^{5} Бк.Данные многолетней динамики активности годовых выбросов НИТИ показывают безопасную работу стендовых установок предприятия (рисунок 7).

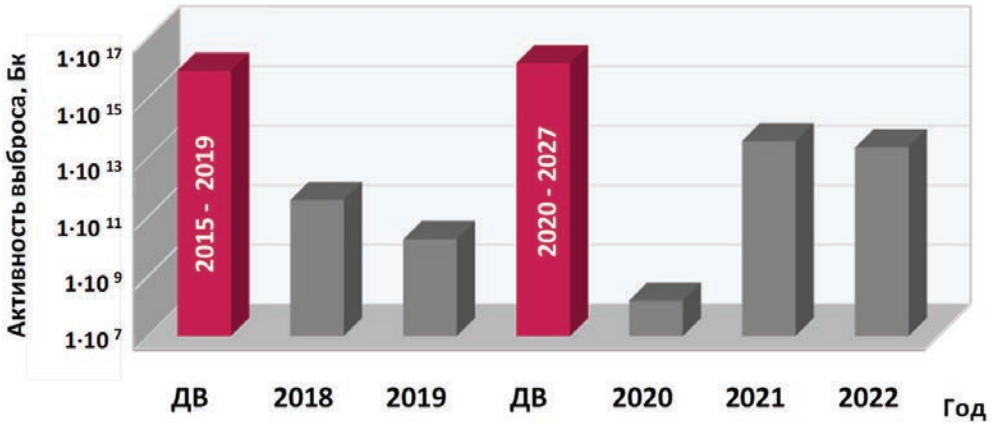


Рисунок 7 – Динамика активности годовых выбросов НИТИ

Увеличение активности выброса в 2021 году по сравнению с 2020 годом связано с изменением метода расчёта. В течение 2021–2022 годов показания блоков и устройств

детектирования, осуществляющих автоматизированный контроль содержания ИРГ в выбросах венттруб, ни разу не превышали нижний предел измерения (НПИ). Поэтому в два последних года активность ИРГ рассчитывалась с учётом значений НПИ и объёмов выброса, регистрируемых автоматизированной системой контроля выбросов. Активность выбросов НИТИ ни разу не превышала допустимых нормативов.

Радиационный мониторинг водной среды

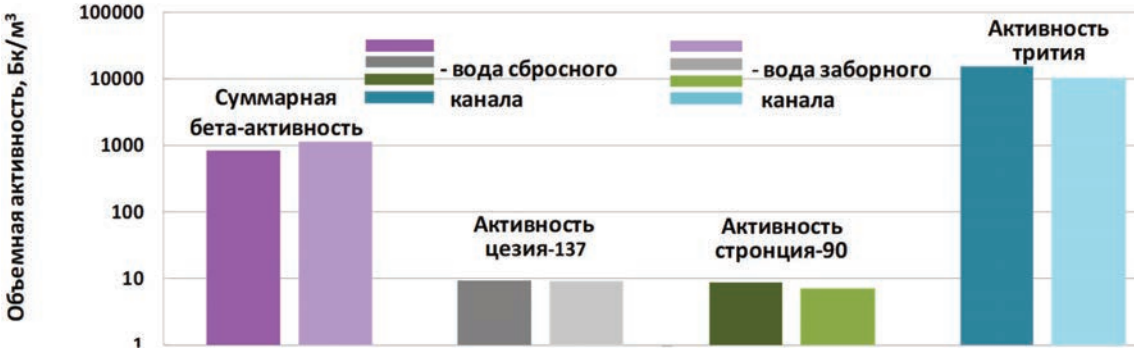
Вода сбросного и подводящего каналов НИТИ

Разрешающим документом на пользование водным объектом – Копорской губой Финского залива – является Решение о предоставлении водного объекта в пользование ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», Невско-Ладожского бассейнового водного управления № ОО-01.03.00.007-М-РСБХ-Т-2018-03380/ОО.

Аванкамера подводящего канала и открытая часть сбросного канала на территории НИТИ

Вода поступает из Финского залива через сети филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская станция» и после охлаждения оборудования сбрасывается в Копорскую губу Финского залива через сбросной канал НИТИ. В состав сточных вод входит морская вода, используемая прямотоком, вода питьевого качества после технологического использования и поверхностные (дождевые и талые) воды. Допустимый объём водоотведения составляет 97365,88 тыс. м^3. Всего фактически в 2022 году отведено сточной воды в Финский залив около 3769 тыс. м^3, из них: 1,8 % питьевой воды после технологического использования, 10,6 % поверхностного стока. Остальная часть приходилась на морскую воду после охлаждения оборудования.

В 2022 году техногенный радионуклидный состав воды сбросного и подводящего каналов определялся ^{137}Cs, ^{90}Sr и реже – тритием. В пределах погрешностей в основном отсутствовало различие между объёмной активностью радионуклидов в воде сбросного и подводящего каналов (рисунок 8).



	Σβ-активность		^{137}Cs		^{90}Sr		Тритий	
Минимум	280	500	< 5,0	< 5,0	< 5,0	5,1	< 10000	< 10000
Максимум	1930	1460	18,1	13,0	10,7	9,6	37800	12700
Среднее	840	1100	9,2	8,9	8,7	7,0	15300	10000

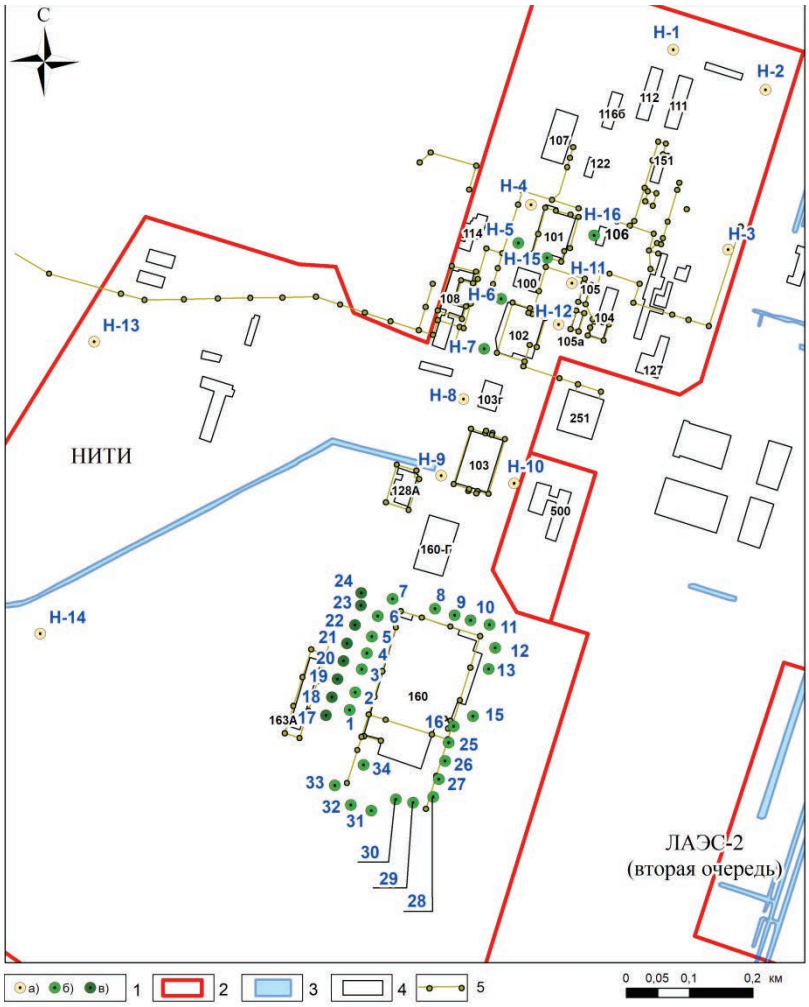
Рисунок 8 – Результаты контроля объёмной активности радионуклидов в водах сбросного и подводящего каналов НИТИ в 2022 году, Бк/м^3

Гамма-спектрометрический анализ воды подтверждает, что природный радионуклид ^{40}K вносит основную долю в суммарную бета-активность вод сбросного и подводящего каналов. Объёмная активность ^{40}K составляла более 95 % от общей активности зарегистрированных в воде радионуклидов. Средняя за год объёмная активность радионуклидов в сбросном канале составляла: ^{137}Cs – 9,2 Бк/м^3, ^{90}Sr – 8,7 Бк/м^3, а в подводящем канале: ^{137}Cs – 8,9 Бк/м^3, ^{90}Sr – 7,0 Бк/м^3.

Основной массив данных по контролю объёмной активности трития в водах сбросного и подводящего каналов НИТИ в 2022 году находился ниже НПИ (10 Бк/дм^3). Максимальное значение трития зарегистрировано в воде сбросного канала в мае 2022 года активностью 38 Бк/дм^3 – в 200 раз меньше УВ по НРБ-99/2009.

Грунтовые воды

Мониторинг грунтовых вод на территории НИТИ проводился в 45 скважинах наблюдательной сети. Из них 12 наблюдательных скважин новой сети. Чтобы их отличить от действующих скважин 2004 года закладки, им присвоен индекс «Н» (рисунок 9).



1 – наблюдательные скважины:

а) – скважины, оборудованные на четвертичный водоносный комплекс;
б) – скважины, оборудованные на среднюю водоносную зону ломоносовского водоносного горизонта;
в) – скважины, оборудованные на нижнюю водоносную зону ломоносовского водоносного горизонта;

2 – граница промплощадки;
3 – водоёмы и водотоки,
4 – здания и сооружения.

Рисунок 9 – Карта-схема расположения наблюдательных скважин на промплощадке НИТИ

В грунтовых водах всех скважин измерялась удельная активность трития, а в грунтовых водах 12 скважин дополнительно определялась удельная бета-активность, содержание гамма-излучающих радионуклидов и ^{90}Sr.

Активность грунтовых вод обусловлена природным радионуклидом ^{40}K рисунок 10). Разброс данных по удельной бета-активности (90–690 Бк/м^3) объясняется различной массой

мелкодисперсных и коллоидных частиц, которые остаются в пробах грунтовых вод после отделения относительно крупных взвешенных веществ с помощью фильтров «белая лента», предусмотренного методикой пробоподготовки.

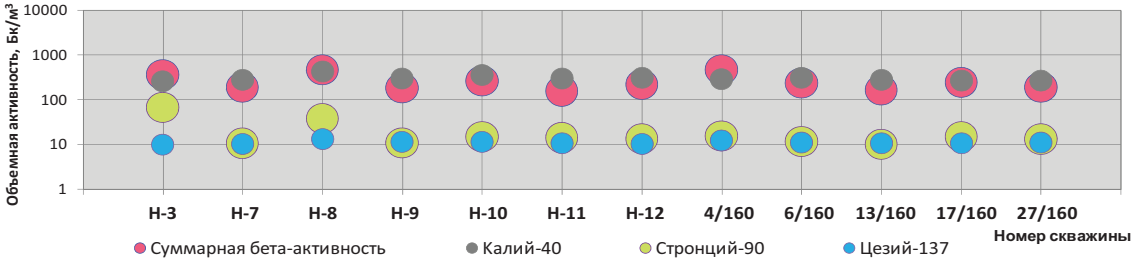


Рисунок 10 – Порядок средних уровней объёмной активности радионуклидов в грунтовых водах на промплощадке НИТИ в 2022 году

Удельная (объёмная) активность техногенных радионуклидов в пробах грунтовых вод не превышала УВ по НРБ-99/2009. Радионуклидный состав обследованных вод достоверно представлен ^{90}Sr в диапазонах активности на уровне прошлого года – от 10 до 106 Бк/м^3. Содержание гамма-излучающих нуклидов в грунтовой воде не зарегистрировано (объёмная активность ^{137}Cs во всех скважинах ниже НПИ). Удельная активность трития в 2022 году во всех пробах воды была ниже НПИ (10 Бк/дм^3). Исключение составляла активность воды из скважины 27/160 в первой половине года с максимальным значением 17,3 Бк/дм^3, что в 440 раз ниже УВ по НРБ-99/2009.

По данным контроля радиационное состояние грунтовой воды на территории НИТИ является благополучным.

Сбросы радионуклидов

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

По результатам радиационного мониторинга объёмная активность радионуклидов 137Cs и 90Sr в воде сбросного и подводящего каналов в пределах погрешностей слабо отличается друг от друга (рис. 8). Кроме того, отбор проб воды для анализа выполняется 1 раз в неделю, а отвод воды в сбросной канал происходит непрерывно. Поэтому активность годового сброса НИТИ рассчитывалась по фактическому объёму и активности воды во всех накопительных баках, сливы из которых организованы в сбросной канал НИТИ. Решение о сливе принималось на основании соответствия активности воды нормам (контрольным уровням) на сброс. Всего в 2022 году из сливных баков в сбросной канал НИТИ поступило 6968 м^3 воды. По результатам расчёта со сбросами предприятия во внешнюю среду поступило активности ^{90}Sr – 6,68×10^4 Бк, ^{137}Cs – 4,52×10^5 Бк и трития – 6,51×10^9 Бк.

Общая активность радионуклидов в сбросе за 2022 год не превысила показателя допустимого норматива сброса (ДС, 3,25×10^{15} Бк/год). Основной вклад в активность сброса НИТИ приходился на тритий.

Данные многолетней динамики активности годовых сбросов НИТИ показывают безопасную работу стендовых установок. Активность годовых сбросов ни разу не превышала допустимых нормативов НИТИ (рисунок 11).

Рисунок 11 – Динамика активности годовых сбросов НИТИ

Радиационный мониторинг наземной среды

Почвенно-растительный покров

Пробы почвы и растительности отбираются каждый сезон в период максимальной вегетации растительности в одних и тех же пунктах контроля. На радиационный мониторинг отбирается поверхностный пятисантиметровый слой целинной почвы площадью 0,02 м^2 в восьми контрольных точках санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения НИТИ. Площадь отбора растительности определяется густотой её покрова, и в 2022 году она в каждом пункте отбора составила 4,0 м^2.

Активность почвенно-растительного покрова, также как и водных сред, определялась ^{40}K природного происхождения, доля которого в 2022 году для почв составляла в среднем 97,0 %, для растительности – 99,7 %. Кроме ^{40}K в почве и растительности на всех точках контроля присутствовали ^{90}Sr и ^{137}Cs. Дополнительно, возле территории СЗТО ФГУП «ФЭО» в почве зарегистрирован ^{95}Nb (124 Бк/м^2), в растительности обнаружен ^{54}Mn на безопасном уровне активности (0,31 Бк/м^2). Другие радионуклиды в почвенно-растительном покрове в 2022 году не зарегистрированы.

Пункт отбора растительности на территории НИТИ и отобранные пробы
на этапе их подготовки к минерализации

Плотность поверхностного загрязнения почвенных покровов в пределах зоны наблюдения НИТИ за отчётный период не превысила значений прошлых лет и в среднем составила: ^{137}Cs – 360 Бк/м^2, ^{90}Sr – 144 Бк/м^2. На территории НИТИ в 2022 году плотность поверхностного загрязнения почвы ^{137}Cs находилась на уровне 290 Бк/м^2, ^{90}Sr – 80 Бк/м^2.

Уровни загрязнения растительности в среднем по району мониторинга составили: ^{137}Cs – 0,45 Бк/м^2, ^{90}Sr – 0,50 Бк/м^2.

В почвенном покрове, как в накопительной экосистеме, содержание радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs больше, чем в растительном покрове, который обновляется ежегодно (рисунок 12). Это подтверждается данными прошлых лет.

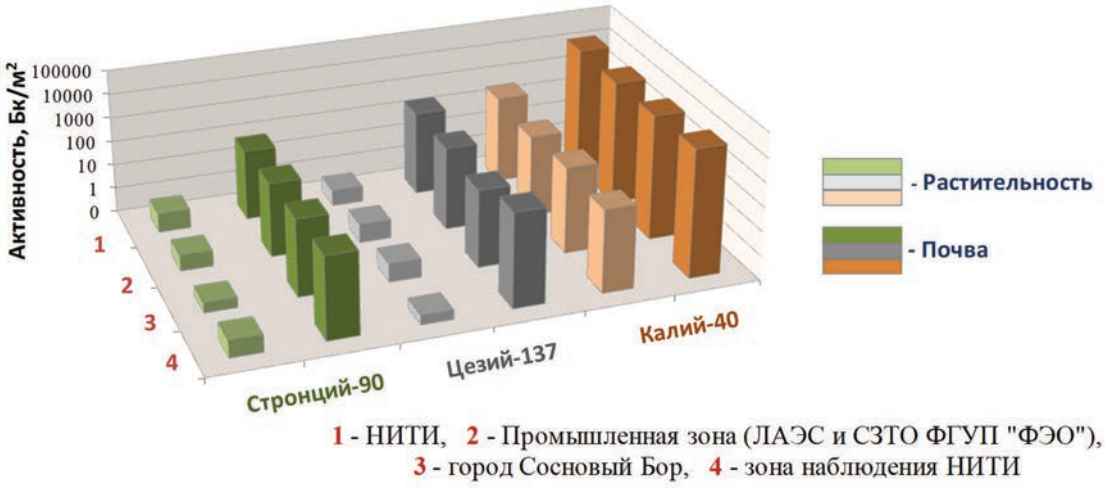


Рисунок 12 – Распределение радионуклидов в суммарной активности почв и растительности в 2022 году, Бк/м^2

Хвоя сосны

Пробы хвои сосны обычно отбираются в конце сентября после окончания формирования свежих приростов текущего года. Хвоя является биологическим фильтром-индикатором выбросов предприятий. По нашим данным среднее содержание суммы бета-излучающих радионуклидов в хвое по району мониторинга составляет 60 Бк/кг сырой массы (таблица 4).

Таблица 4

Результаты измерений удельной активности радионуклидов в пробах хвои

Место отбора	Дата отбора	Удельная активность, Бк/кг сырой массы			
		$\sum\beta$-активность	^{137}Cs	^{90}Sr	^{40}K
НИТИ	28.09.2022	66 ± 8	< 0,05	< 0,23	30 ± 4
ЛАЭС	28.09.2022	55 ±7	< 0,06	0,25 ± 0,09	25 ± 3
г. Сосновый Бор	28.09.2022	50 ± 6	2,40 ± 0,30	0,44 ± 0,16	30 ± 4
пос. Копорье	28.09.2022	60 ± 7	0,25 ± 0,10	0,40 ± 0,14	30 ± 4

Удельная активность техногенных радионуклидов в хвое в среднем по району составляла не более 2 % от суммарной бета-активности.

Следовательно, в 2022 году регистрируемые уровни активности радионуклидов во всех контролируемых объектах природной среды на территории НИТИ и за её пределами в зоне наблюдения ни разу не превышали соответствующих допустимых значений. Результаты радиационного мониторинга воздушных, водных и наземных экосистем в пределах зоны наблюдения НИТИ подтверждают нормальную радиационную обстановку на контролируемой территории. Деятельность НИТИ не оказывает значимого влияния на радиоактивность объектов природной среды.

Воздействие радиационных факторов на население

Оценка воздействия деятельности НИТИ на население проведена по расчёту индивидуальных эффективных доз от выбросов и сбросов предприятия. Крупным населенным пунктом в зоне наблюдения НИТИ является город Сосновый Бор Ленинградской области численностью около 67 тыс. жителей. Расчёты доз проведены с учётом того, что ближайшая граница города Сосновый Бор находится в 5 км от предприятия. В 2022 году годовая эффективная доза для населения на 99,7 % определялась газо-аэрозольными выбросами предприятия и лишь на 0,3 % – сбросами (рисунок 13).

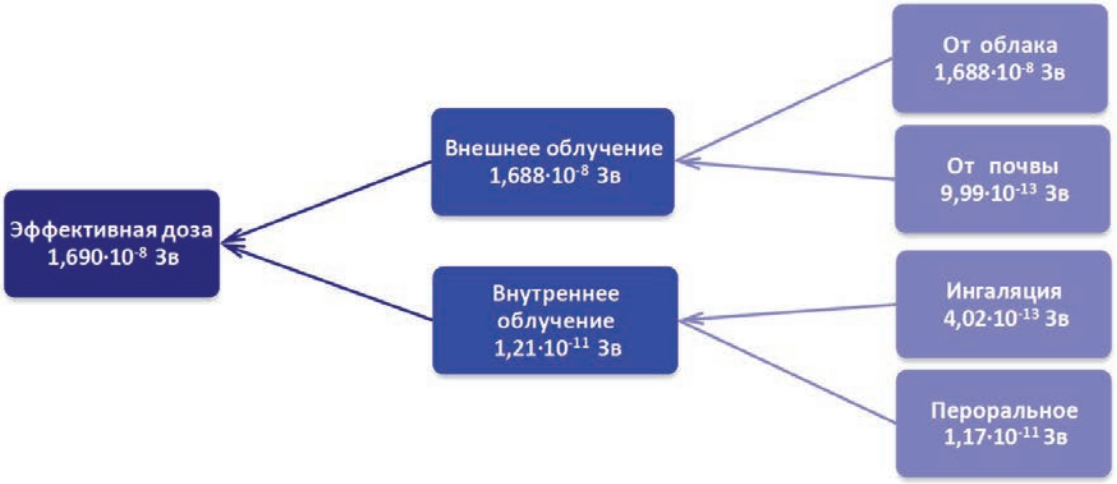


Рисунок 13 – Структура индивидуальной эффективной дозы
на население города Сосновый Бор от деятельности НИТИ в 2022 году

Суммарная эффективная доза жителя города Сосновый Бор от всех источников облучения предприятия (выбросы, сбросы) в 2022 году составила не более $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Зв. Это значение существенно ниже дозовой квоты 0,2 мЗв, выделенной НИТИ на выбросы и сбросы радионуклидов, а тем более ниже основного дозового предела для населения, регламентированного федеральными Нормами радиационной безопасности, который составляет 1 мЗв в год.

Заключение

Анализ результатов радиоэкологического контроля выбросов, сбросов и объектов природной среды в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения НИТИ за 2022 год свидетельствуют о нормальной радиационной обстановке в районе расположения предприятия и практическое отсутствие локального возрастания содержания радионуклидов в объектах природной среды за счет деятельности действующих стендовых установок НИТИ. Это подтверждают следующие результаты мониторинга:

1. Радиационная безопасность газо-аэрозольных выбросов 2022 года характеризуется низким уровнем активности радионуклидов, составляющим по инертным радиоактивным газам от 0,04 до 1,85 % от соответствующих значений ДВ НИТИ; по аэрозолям выбросов от 0,0005 до 0,004 % от соответствующих значений ДВ НИТИ.
2. Активность радионуклидов в годовом сбросе без учёта трития составила $5{,}19 \cdot 10^5$ Бк. Активность трития в сбросе НИТИ за 2022 год составила $6{,}51 \cdot 10^9$ Бк. Эти уровни на 5–7 порядков ниже соответствующих нормативов ДС НИТИ.
3. Регистрация незначительных количеств коррозионных радионуклидов в воздушной среде на постах АСКРО НИТИ является следствием текущих работ в НИТИ и на близлежащих предприятиях АПК города Сосновый Бор, связанных с эксплуатацией ЯЭУ и процессами обращения с РАО. Уровни активности в приземном атмосферном воздухе, наблюдаемые на промплощадке НИТИ, радиоэкологически безопасны для персонала предприятий и проживающего в городе населения. В 2022 году максимальные объёмные активности радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха на территории НИТИ, были на 48 порядков ниже соответствующих значений $ДОА_{НАС}$ по НРБ-99/2009.
4. Данные регулярного мониторинга грунтовых вод в пределах территории НИТИ подтверждают, что подземная гидросфера на промплощадке НИТИ практически не загрязнена. Содержание бета-излучающих радионуклидов в основном формируется природным радионуклидом ^{40}K. В грунтовых водах не обнаружено гамма-излучающих радионуклидов техногенного происхождения. Радионуклидный состав обследованных вод достоверно представлен ^{90}Sr и тритием. Максимальное значение объёмной активности ^{90}Sr было в 46 раз ниже УВ по НРБ-99/2009. Содержание трития находилось ниже НПИ (< 10 Бк/дм^3) за исключением единичных замеров с максимальным значением в 450 раз ниже УВ по НРБ-99/2009.
5. Уровень радиоактивного загрязнения наземных экосистем на промплощадке НИТИ практически не выделяется на фоне территорий вблизи других предприятий промышленной зоны г. Сосновый Бор и более дальних пунктов контроля. Активность радионуклидов в почвенно-растительном покрове находилась на уровне прошлых лет и связана с глобально-региональным радиационным фоном (^{137}Cs и ^{90}Sr). Возле СЗТО ФГУП «ФЭО» на безопасном уровне в почве дополнительно зарегистрирован ^{95}Nb (124 Бк/м^2), в растительном покрове – ^{54}Mn (0,31 Бк/м^2).
6. Значения МАЭД, регулярно поступающие с восьми постов АСКРО НИТИ в 2022 году, ни разу не превысили контрольного уровня в 0,5 мкЗв/час, установленного для промплощадки НИТИ. По данным информационного потока МАЭД, поступающих от измерительных каналов АСКРО НИТИ и АСКРО ЛАЭС на протяжении 2022 года, значения данного показателя в СЗЗ, ЗН НИТИ (20 км) и на расстоянии до 32 км от НИТИ находятся практически на одинаковом и безопасном уровне.
7. Индивидуальная эффективная доза жителя города Сосновый Бор от всех источников облучения предприятия в 2022 году составила $1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Зв, что существенно ниже квоты 0,2 мЗв, выделенной НИТИ на выбросы и сбросы и, фактически, незначима для населения города.

5

5. Исследования тяжёлых аварий

В.И. Альмяшев

В 2022 году в отделе исследований тяжелых аварий (ОИТА) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» продолжено исследование процессов, протекающих на различных стадиях тяжелых аварий на реакторных установках (РУ) и энергоблоках АЭС.

По договору с ИБРАЭ РАН, в сотрудничестве с ОХТИ, проведены работы по исследованию процессов, протекание которых возможно в условиях гипотетических запроектных аварий на перспективной реакторной установке БРЕСТ-ОД-300. Получены новые экспериментальные данные, актуальные для создания моделей и верификации расчётных кодов, моделирующих тяжелые аварии на установках данного типа.

В рамках работ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» выполнено обобщение результатов экспериментального исследования взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя с теплоносителем второго контура в аварийных режимах.

По договору с Институтом химии силикатов РАН в рамках гранта РФФИ-Росатом на комплексе с экспериментальных установок «Расплав» НИТИ проведено исследование высокотемпературного взаимодействия MAX-фаз, перспективных в качестве материала оболочек твэлов, с химически прототипным расплавом активной зоны ядерного реактора.

По договору с СПбГУ в рамках проекта Министерства науки и высшего образования России проведен высокотемпературный термический анализ образцов оксидных материалов в системах Cs_2O-Al_2O_3 и SrO-Al_2O_3.

В рамках договора с АО «НИКИЭТ» предложена матрица экспериментальных исследований взаимодействия материалов перспективной активной зоны атомной станции малой мощности (АСММ) на базе РУ ШЕЛЬФ-М при тяжёлых авариях.

В рамках работ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» по гражданской продукции выполнена отработка технологии сцинтилляционного материала на основе оксидной эвтектики.

Наряду с перечисленными работами в течение 2022 году совместно с ОКЭЭР проводилась подготовка к запуску в эксплуатацию комплекса экспериментальных установок «Расплав» на основе высокочастотного оборудования, системы защитных боксов и информационно-измерительной системы ИИС-РМ на новом месте расположения.

5.1 Проведение экспериментальных работ по исследованию взаимодействия материалов активной зоны реакторных установок со свинцовым и натриевым теплоносителями при тяжелых авариях

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

Обоснование безопасности РУ невозможно без расчётно-экспериментальных исследований, позволяющих определить допустимые пределы рабочих параметров РУ, снизить неопределенности в предсказании сценариев проектных и запроектных аварий, выявить существенные эффекты, могущие сказаться на безопасности РУ. Для реакторных установок проектного направления «ПРОРЫВ» – со свинцовым (БРЕСТ-ОД-300, БР-1200) и натриевым (БН-1200) теплоносителем также необходимо расчётно-экспериментальное обоснование. Применение в этих проектах принципиально нового мононитридного уран-плутониевого топлива, новых сортов стали в качестве оболочек твэлов, нового типа теплоносителя (расплава свинца), новых конструкторских решений активной зоны и контуров охлаждения требуют тщательной экспериментальной проверки на совместимость материалов и их сочетаний.

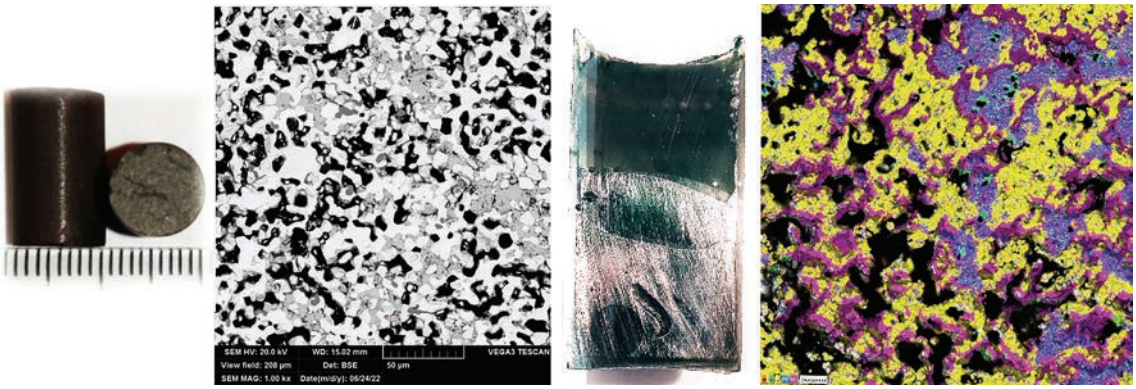
В рамках договора с ИБРАЭ РАН по исследованию взаимодействия материалов активной зоны РУ со свинцовым теплоносителем и натриевым теплоносителем при тяжёлых авариях в 2022 году были проведены следующие эксперименты:

- серия BR-6 по исследованию выхода имитаторов продуктов деления (ПД) из модельного нитридного топлива (на основе UN) в расплав свинцового теплоносителя и системы «теплоноситель – сталь» и в объём над расплавом в инертной и окислительной атмосфере;
- серия BR-7 по исследованию взаимодействия расплава свинца и расплава стали оболочки твэлов реактора БРЕСТ-ОД-300 с бетоном шахты реактора БРЕСТ-ОД-300 в инертной атмосфере;
- эксперимент BR-8(1) по исследованию кинетики выхода паров и аэрозолей из расплава стали оболочки твэлов реактора БН-1200.

В рамках серии BR-6 изготовлено две партии таблеток модельного UN топлива с добавлением имитаторов ПД (в НИТИ и в АО «НИИ НПО «ЛУЧ») и проведено шесть экспериментов, по результатам которых показано следующее:

- при температуре расплава, превышающей 1200 °C, и в условиях инертной атмосферы над расплавом имеет место фрагментация поверхностных слоев топливной таблетки;
- деградация нитрида урана обнаружена во всех экспериментах серии. В инертной среде деградация топливной композиции происходит с приблизительно постоянной скоростью на протяжении всего эксперимента и несколько интенсифицируется при переходе в режим кипения. В присутствии окислителя наиболее интенсивно деградация происходит при переходах от одного температурного уровня к другому;

– наиболее заметным из топливных компонентов в газовой фазе над расплавом является уран. В закристаллизованном расплаве не обнаружено сколь-нибудь значимых концентраций ПД. ПД преимущественно остаются в таблетках и продуктах их деградации/окисления (рисунок 1).



а *б* *в*

Рисунок 1 – Экспериментальная серия BR-6:

а – вид и микроструктура таблеток модельного UN топлива с имитаторами ПД, изготовленного в АО «НИИ НПО «ЛУЧ», *б* – осевой разрез слитка эксперимента BR-6(6), направленного на исследование взаимодействия модельного топлива на основе UN с ИПД с расплавом системы «свинец С1 – сталь ЭП823-Ш» в окислительной атмосфере (Ar + O_2), *в* – рентгеновское картирование таблетки после проведения эксперимента BR-6(2)

В рамках серии BR-7, направленной на исследование взаимодействия расплавов свинца и стали оболочки твэлов с бетоном шахты реактора БРЕСТ-ОД-300 было проведено исследование свойств бетона и три эксперимента, по результатам которых было показано следующее:

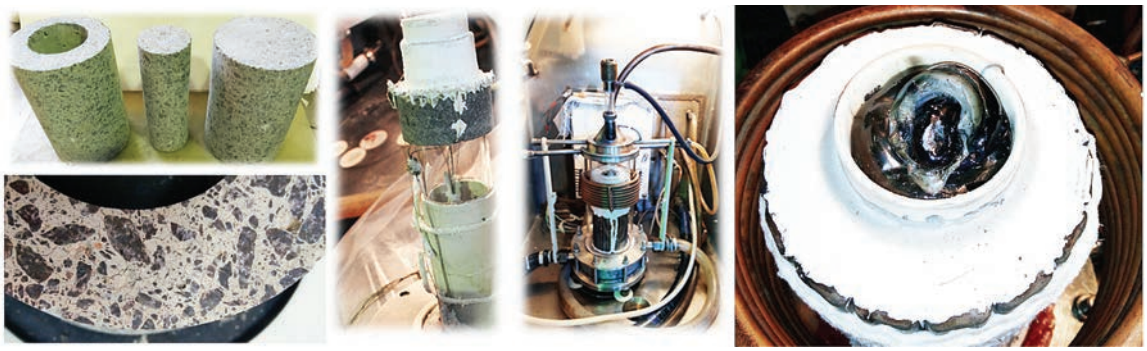
– исследован элементный и фазовый состав, а также проведен термический анализ тяжелого бетона шахты реактора БРЕСТ-ОД-300;

– получены количественные результаты по кинетике абляции бетона расплавом свинца;

– скорость абляции бетона становится существенной при достижении расплавом свинца температурного уровня 1100 °С. При этом активное плавление бетона начинается на уровне температуры 1200 °С;

– при введении в расплав свинца топливной таблетки нитрида урана в пост-тест анализах в слитке было обнаружено существенное количество диоксида урана, что свидетельствует о том, что окислительных ресурсов бетона в виде воды (водяного пара), выделяющихся при разложении кристаллогидратных фаз, достаточно для прохождения процессов деградации нитрида урана;

– показано, что при добавлении в систему оболочечной стали плавление бетона начинается до плавления стали. При этом также наблюдается деградация топливной композиции с переходом урана в оксидную форму (рисунок 2).



а *б* *в*

Рисунок 2 – Экспериментальная серия BR-7:

а – вид образцов тяжелого бетона БРЕСТ-ОД-300, изготовленных в ООО «ТехноАРМ+»,
б – вид экспериментальной ячейки до проведения эксперимента BR-7(2), ***в*** – вид поверхности плавленого бетона после проведения эксперимента BR-7(3)

В рамках 1-го этапа исследования кинетики взаимодействия таблеток модельного нитридного топлива с расплавом оболочечной стали твэлов реактора БН-1200 был проведён эксперимент BR-8(1), в ходе которого были получены количественные результаты по кинетике выхода паров и аэрозолей из расплава стали в условиях инертной атмосферы над расплавом.

Также были разработаны схемы экспериментальных установок, разработаны и согласованы с Заказчиком процедуры экспериментов 2023 года, экспериментальная установка «Расплав-3», на которой планируется проведение экспериментов, перевезена согласно проекта размещения на площадке ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», подготовлена к монтажу и пуско-наладочным работам.

5.2 Экспериментальные исследования взаимодействия ТЖМТ с теплоносителем второго контура в аварийных режимах

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

Одним из возможных сценариев тяжелой аварии является разрыв трубопроводов второго контура теплоносителя и попадание воды в объём тяжелого жидкометаллического теплоносителя (ТЖМТ). Для исследования процессов, происходящих при введении порций воды на определенную глубину в объём ТЖМТ, в ОИТА была спроектирована и изготовлена экспериментальная установка «Расплав-ТЖМТ». Установка оснащена системой ввода дискретных порций воды под уровень расплава Pb-Bi эвтектики, быстродействующими датчиками давления, термопарами и системой видеорегистрации поверхности расплава теплоносителя. Схема экспериментальной ячейки установки «Расплав-ТЖМТ» показана на рисунке 1. Установка состоит из тигельного участка, предназначенного для расплава, и расширительного объёма (поз. 7). Тигель представляет собой трубу из нержавеющей стали высотой 400 и диаметром 60 мм, соответственно, приваренную к стальному основанию (поз. 2). Плавление и нагрев расплава теплоносителя осуществлялся джоулевым теплом с помощью ленточного

нагревателя (поз. 11). Ввод порций воды осуществлялся с помощью штока (поз. 15), на нижнем торце которого размещалась свинцовая ампула с водой (поз. 4). Разрушение ампулы осуществлялось либо рассеканием о расположенное на дне ванны с расплавом стального острия (поз. 3), либо, как вариант, за счёт расплавления ампулы.

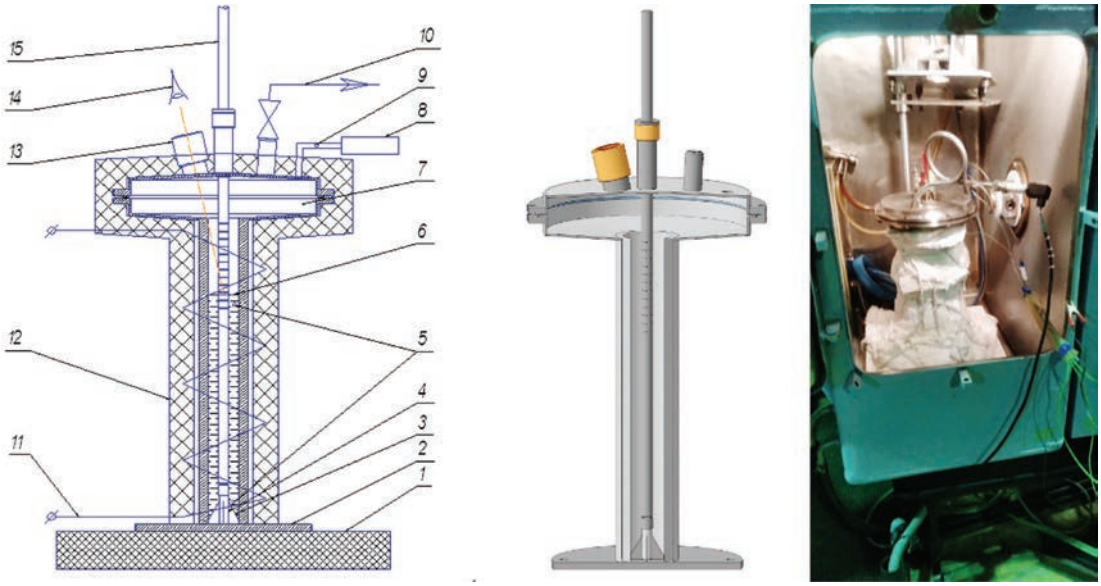


Рисунок 1 – Схема и вид экспериментальной ячейки установки «Расплав-ТЖМТ»:
1 – подставка тефлоновая теплоэлектроизолирующая; 2 – стальное основание; 3 – стальное крестообразное острие (рассекатель); 4 – ампула свинцовая; 5 – термопары верхняя и нижняя в расплаве; 6 – уровень расплава; 7 – расширительный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

С использованием описанной выше установки были проведены две экспериментальные серии по взаимодействию расплава ТЖМТ эвтектики с водой, вводимой в объём расплава (СВ-01 и СВ-03), в ходе которых было использовано 39 ампул с водой: 8 ампул по 0,5 мл, 8 ампул по 1 мл, 8 ампул по 1,5 мл, 7 ампул по 2 мл и 7 ампул по 3 мл. Полученные в ходе экспериментального исследования результаты применимы для отладки используемых в расчётном коде «КОРСАР» математических моделей и для валидации кода.

В рамках работ 2022 году было выполнено следующее:

- проведено обобщение экспериментальных данных НИТИ, полученных в ходе экспериментальных серий СВ-01 и СВ-03;
- на основании анализа размерностей, метода аналогий и основных принципов (закона сохранения тепловой энергии) получены три безразмерных комплекса, полностью определяющих явление обращённого парового взрыва (по крайней мере, в случае экспериментов НИТИ):

$$E = \rho_s / \rho_w$$

– где ρ_s, ρ_w – плотности пара и воды, соответственно, т.е. сам комплекс E имеет смысл степени расширения воды при переходе её из жидкой в парообразную форму;

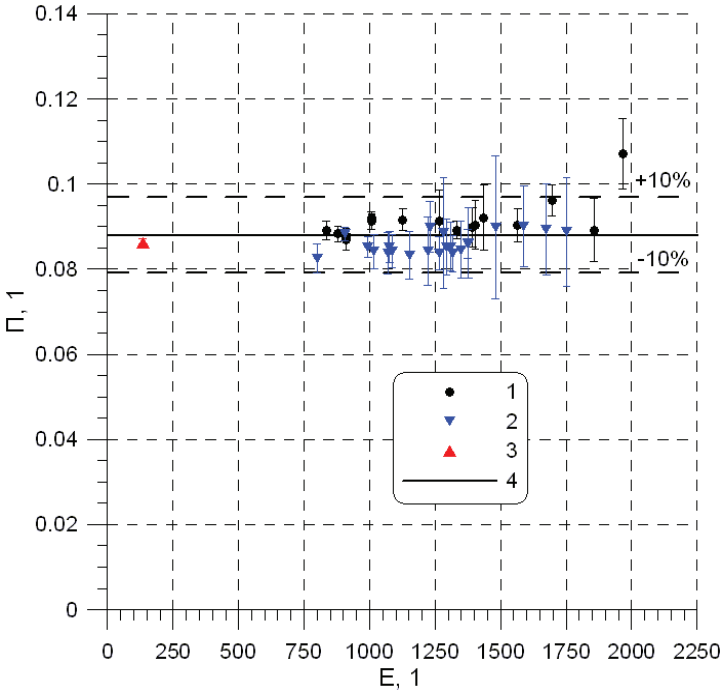
$$\Theta = \left[c_m m_m \left(T_{m,0} - T_{m,\min} \right) \right] \Big/ \left\{ V_e \left[h_v \left(P_0 + \Delta P, T_{e,\max} \right) - h_v \left(P_0, T_{e,0} \right) \right] \right\}$$

где c_m – удельная на единицу массы теплоёмкость расплава, Дж/(кг·К); m_m – масса расплава, кг; $T_{m,0}$ – температура расплава перед вводом в него воды, К; $T_{m,min}$ – минимум температуры расплава сразу после ввода в неё воды, К; V_e – величина расширительного объёма, м^3; P_0 – давление в расширительном объёме перед вводом в расплав воды, Па; ΔP – величина скачка давления в расширительном объёме ввода воды в расплав, Па; $T_{e,max}$ – максимум температуры паровой среды в расширительном объёме сразу после ввода воды в расплав, К; $h_v\left(P_0+\Delta P, T_{e,\max}\right)$ – удельная на единицу объёма энтальпия водяного пара при давлении $P_0+\Delta P$ и температуре $T_{e,max}$, Дж/м^3; $T_{e,0}$ – температура паровой среды в расширительном объёме перед вводом ампулы с водой в расплав, К; $h_v\left(P_0, T_{e,0}\right)$ – удельная на единицу объёма энтальпия водяного пара при давлении P_0 и температуре $T_{e,0}$, Дж/м^3. Таким образом, Θ представляет собой отношение тепла отданного расплавом (числитель выражения) и изменения теплосодержания (энтальпии) воды/водяного пара;

$$\Pi = \frac{\Delta P}{h_v\left(P_0+\Delta P, T_{e,\max}\right) - h_v\left(P_0, T_{e,0}\right)}$$

– безразмерный скачок давления в расширительном объёме;

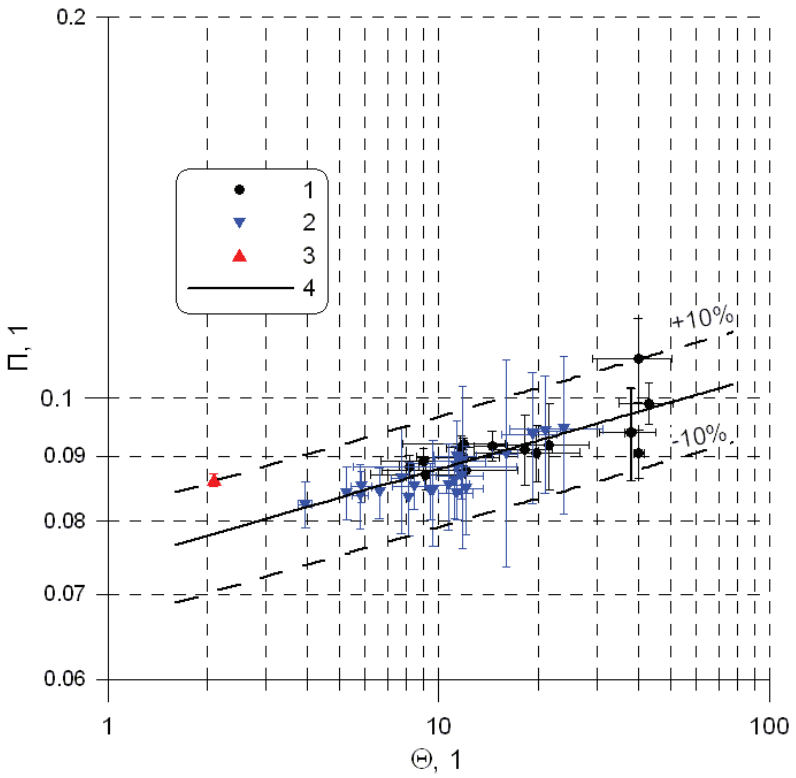
– показано, что безразмерный комплекс Π, связывающий максимальную величину избыточного давления в объёме над расплавом после введения в расплав воды с максимальным изменением энтальпии (теплосодержания) воды/водяного пара в системе, фактически не зависит от безразмерного комплекса E – степени расширения воды, введённой в расплав, при переходе её в паровую фазу (рисунок 2);



1 – СВ-01, 2 – СВ-03, 3 – данные [S. Cheng et all, 2014], 4 – $\Pi \approx 0{,}088$

Рисунок 2 – Зависимость $\Pi = f_1\left(E\right)$

– кроме того, безразмерный комплекс Π чрезвычайно слабо зависит ещё от одного определяющего процесс безразмерного комплекса Θ – тепла, отданного расплавом, отнесённого к изменению теплосодержания (энтальпии) капельной воды и водяного пара в системе (рисунок 3).



1 – СВ-01, 2 – СВ-03, 3 – данные [S. Cheng et all, 2014], 4 – $\Pi = 0{,}074\,\Theta^{0{,}075}$ $(\pm 10\%)$

Рисунок 3 – Зависимость $\Pi = f_2(\Theta)$

5.3 Исследование высокотемпературного взаимодействия перспективных MAX-фаз с химически прототипным расплавом активной зоны ядерного реактора на комплексе экспериментальных установок «Расплав»

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

Дальнейшее развитие атомной энергетики невозможно без решения ряда важных задач, касающихся улучшения безопасности АЭС. Существенного изменения уровня безопасности возможно достичь только созданием и внедрением новых видов ядерного топлива, регулирующих стержней и других материалов реакторного пространства, позволяющих увеличить ресурс, свести к минимуму количество радиоактивных отходов, повысить надежность в режиме штатной эксплуатации и устойчивость в случае аварийных ситуаций на АЭС. При разработке новых видов устойчивого к авариям топлива (ATF-топлива) на передний край встают проблемы выбора материала оболочки, который, с одной стороны, должен обеспечивать устойчивость к высокотемпературной деградации, а с другой стороны,

должен быть одновременно и прочен, и пластичен и устойчив к длительным радиационным воздействиям. Удовлетворить этому набору требований, противоречащих друг другу, возможно либо в рамках композиционного материала, либо выбрав такой материал, который сочетает в себе свойства нескольких классов материалов. В качестве потенциального кандидата на решение этой комплексной проблемы подходят так называемые MAX-фазы. MAX-фазы представляют собой семейство тройных слоистых соединений, отвечающих условной формуле $M_{n+1}AX_n$ (n = 1, 2, 3...), где M – переходный *d*-металл (Sc, Ti, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta); A – *p*-элемент (Si, Ge, Al, Ga, S, P, Sn, As, Cd, I, Tl, Pb); X – углерод или азот. Слоистые тройные карбиды и нитриды *d*- и *p*-элементов (MAX-фазы) проявляют уникальное сочетание свойств, характерных как для металлов, так и для керамики, следовательно, такие материалы могут быть оптимальными материалами оболочек твэлов ядерных реакторов.

В частности, MAX-фаза, отвечающая формуле Zr_2AlC может быть рассмотрена в качестве материала оболочки твэлов атомных реакторов поколений III+ и IV, которая может превзойти свойства материалов на основе карбида циркония. Поэтому целесообразно получить экспериментальную информацию по высокотемпературному взаимодействию материала, содержащего данное соединение, с расплавом кориума.

Для исследования влияния химического состава и структурно-фазового состояния покрытий оболочек твэлов ядерных реакторов на стойкость к тепловому удару и трещиностойкость, а также на изменение этих параметров в штатных и аварийных условиях работы ядерных реакторов целесообразно рассмотреть высокотемпературное поведение композиций соединений, отвечающих составу MAX-фаз $(Ti,Zr)_{n+1}(Al,Si)C_n$, где n = 1, 2, с диоксидом циркония, в частности, взаимодействие таких композитов с расплавом кориума.

Данная работа, выполненная по договору с ИХС РАН в рамках гранта РФФИ-Росатом № 20-21-00056 «Перспективные материалы оболочек твэлов ядерных реакторов при высоких температурах: фазовые равновесия, структура, физико-химические свойства, моделирование, устойчивость в экстремальных условиях» ориентирована на проведение таких экспериментов. Для проведения экспериментальных исследований Заказчиком были предоставлены образцы карбидной керамики, содержащей MAX-фазу состава Zr_2AlC и образцы композиционной керамики, содержащей MAX-фазы различного состава и диоксид циркония. Интегральный состав образцов, а также присвоенные им для проведения экспериментов номера, приведены в таблице 1.

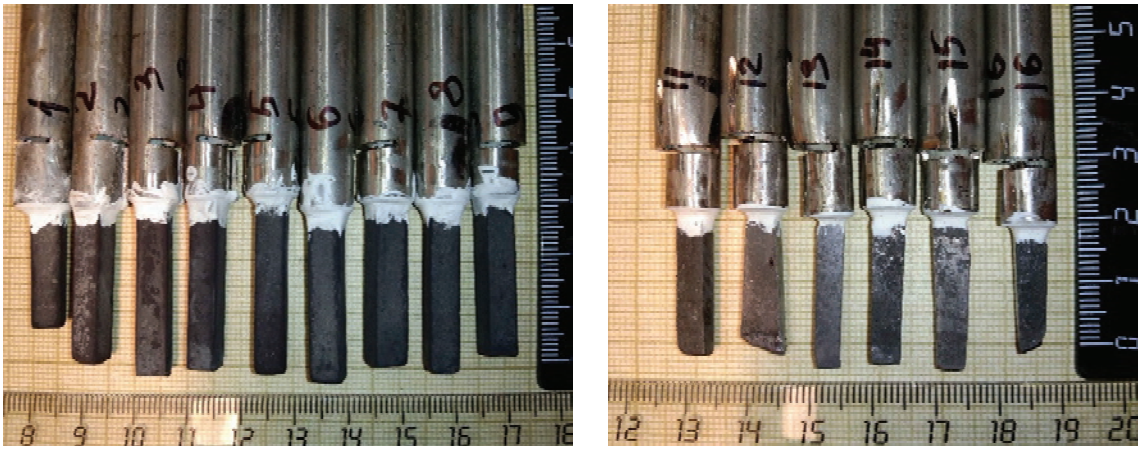
Таблица 1

Состав и номера образцов, использованных в серии экспериментов MAX-1 – MAX-4

Номер образца	Состав
1÷9	Zr_3AlC_2
11	50 мол. % Ti_2SiC + 50 мол. % ZrO_2
12	50 мол. % Zr_3AlC_2 + 50 мол. % ZrO_2
13	50 мол. % Ti_2AlC + 50 мол. % ZrO_2
14	50 мол. % Zr_2AlC + 50 мол. % ZrO_2
15	50 мол. % Ti_3SiC_2 + 50 мол. % ZrO_2
16	50 мол. % Ti_3AlC_2 + 50 мол. % ZrO_2

На рисунке 1 представлен вид образцов. Образцы карбидной керамики, содержащей MAX-фазу состава Zr_2AlC представляли собой спеченные методом горячего прессования закреплённые в цилиндрических держателях штапики с сечением 4х4 мм и длиной 30...40 мм (рисунок 1а). Образцы композиционной керамики, содержащей MAX-фазы различного состава и диоксид циркония, представляли собой спеченные методом горячего прессования фрагменты керамики различной формы (рисунок 1б), закреплявшиеся в цилиндрических держателях.

Перед проведением экспериментов был выполнен входной контроль переданных Заказчиком образцов. Элементный анализ исходных образцов проводили рентгеноспектральным флуоресцентным методом на вакуумном спектрометре СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM. Определение микроструктуры, элементного и фазового состава образцов проводили методами СЭМ/РСМА и РФА в инжиниринговом центре СПбГТИ(ТУ).



а *б*

Рисунок 1 – Вид образцов для проведения экспериментов серии MAX, закрепленные в держатели:

а – образцы карбидной керамики, содержащей MAX-фазу состава Zr_2AlC; *б* – образцы композиционной керамики, содержащей MAX-фазы различного состава и диоксид циркония

Эксперименты проводились на установке «Расплав-3» с высокочастотным генератором колебательной мощностью 100 кВт и частотой тока 120 кГц. В зависимости от типа расплава использовался либо керамический тигель из диоксида циркония (рисунок 2), помещённого в холодный водоохлаждаемый тигель с теплоизоляцией между ними в виде засыпки порошком ZrO_2 – для металлического расплава (рисунок 3), либо холодный водоохлаждаемый тигель – для оксидного расплава (рисунок 4).

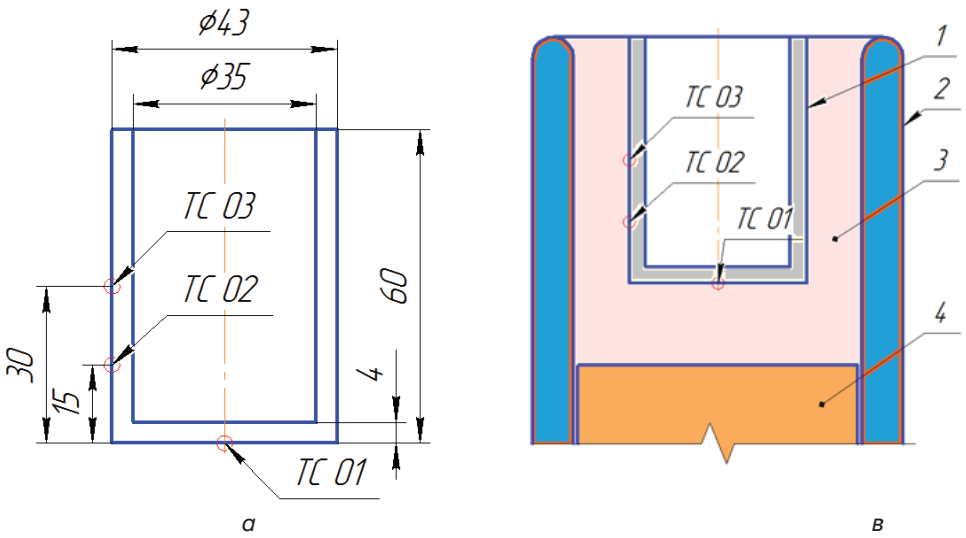


Рисунок 2 – Керамический тигель из диоксида циркония, применённый в экспериментах с металлическим расплавом (МАХ-2 и МАХ-4):

а – размеры тигля и схема его термометрирования; *б* – схема размещения керамического тигля в холодном водоохлаждаемом тигле: 1 – керамический тигель; 2 – холодный тигель; 3 – порошок из диоксида циркония; 4 – керамическое дно из диоксида циркония

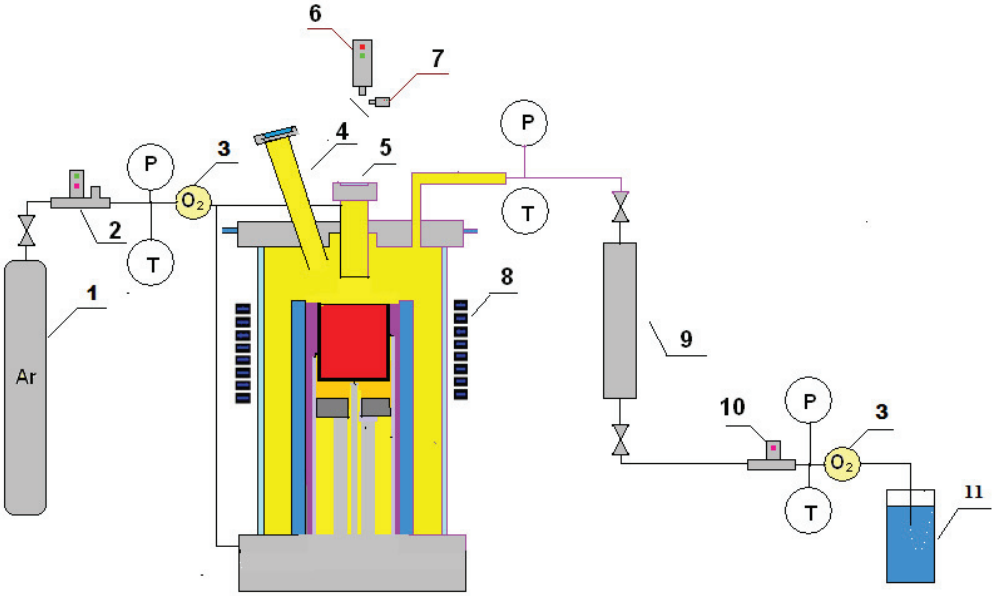


Рисунок 3 – Схема установки «Расплав-3» в экспериментах МАХ-2 и МАХ-4

1 – баллон с Ar; 2 – регулятор газового потока Bronkhorst; 3 – электрохимические датчики кислорода; 4 – шахта для подачи образцов; 5 – шахта пирометра с кварцевым окном;6 – пирометр; 7 – видеокамера; 8 – индуктор; 9 – фильтр средней площади; 10 – измеритель газового потока Honeywell; 11 – гидрозатвор

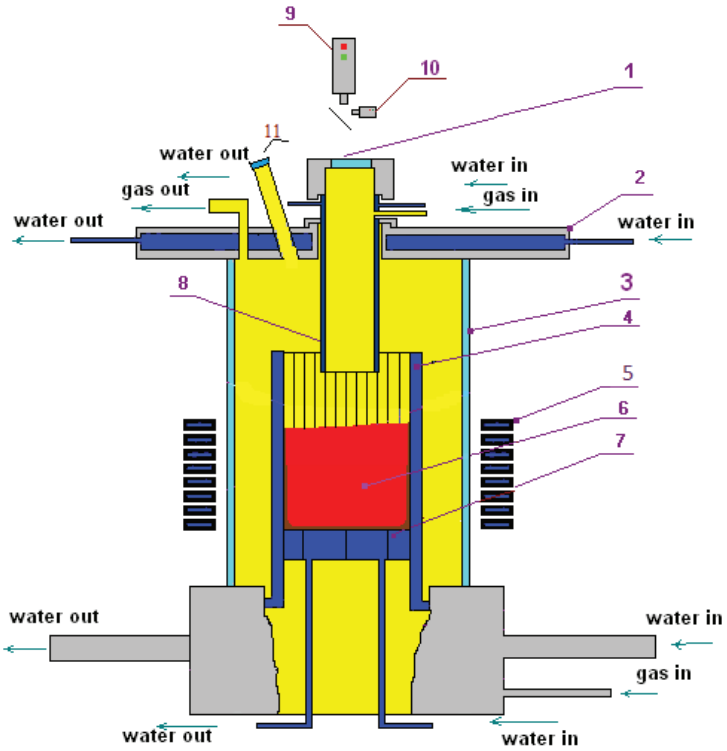


Рисунок 4 – Схема установки «Расплав-3» в эксперименте MAX-3:
1 – кварцевое окно; 2 – водоохлаждаемая крышка печи; 3 – кварцевая обечайка; 4 – трубки секций тигля; 5 – индуктор; 6 – оксидный расплав кориума; 7 – донный многосекционный водоохлаждаемый калориметр; 8 – шахта пирометра, порт для ввода стали в расплав; 9 – пирометр; 10 – видеокамера; 11 – порт для подачи образцов в печь

Состав шихты, загружаемой в тигль в экспериментах MAX-2 и MAX-4 с металлическим расплавом: U – 17 г, Zr – 17 г, сталь 08Х18Н10Т – 305 г (всего – 339 г). Общий вид загрузки показан на рисунке 5.

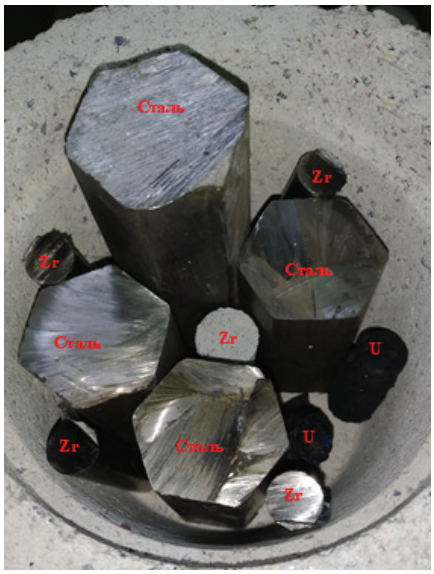


Рис. 5. Вид загрузки тигля в экспериментах MAX-2 и MAX-4

Состав шихты, загружаемой в тигель в эксперименте МАХ-3 с оксидным расплавом: $UO_{2,37}$ – 1362 г, ZrO_2 – 245 г, Zr – 134 г, – 1800 г, что обеспечивало атомное соотношение урана и циркония 1,2 и индекс окисленности кориума С-70.

В экспериментах с металлическим расплавом (МАХ-2 и МАХ-4) температура расплава менялась в пределах от 1700 (±10) до 2300 (±20) °С, а времена экспозиции образцов в расплаве от 5 до 600 с. В эксперименте с оксидным расплавом (МАХ-3) температура расплава была равна 2490 (±30) °С, а времена экспозиции образцов в расплаве были равны 1 и 2 с.

Помимо исследования взаимодействия карбидной и композитных керамик с расплавом в эксперименте МАХ-3 были проведены измерения температуры ликвидус расплава с помощью метода визуального политермического анализа в печи с индукционной плавкой в холодном тигле. Измеренная температура ликвидус субокисленного расплава составила 2431 (±9) °С.

Каждый использованный в экспериментах образец перед вводом его в расплав взвешивался (вместе с держателем). После извлечения образца из расплава процедура взвешивания повторялась. Как правило, наблюдался прирост массы за счёт визуально наблюдаемой корки из налипшего на образец расплава. Прирост массы колебался от десятых долей грамма до 2 г (при максимальной экспозиции 600 с и температуре металлического расплава 1950 (±50) °С). Типичный вид образцов после извлечения из расплава показан на рисунках 6, 7. Только в нескольких случаях наблюдалась незначительная убыль массы.

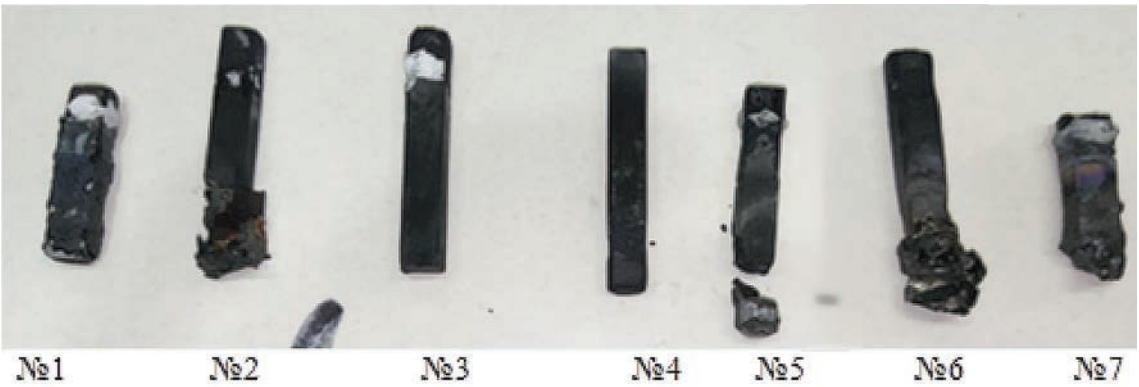


Рисунок 6 – Вид керамических (МАХ-фаза Zr_2AlC) образцов после проведения эксперимента МАХ–2

Образцы №5*,6* (МАХ)

Образцы №111-161 (МАХ-ZrO_2)

Рисунок 7 – Вид керамических образцов из эксперимента МАХ-3

В ходе пост-тест исследований были изготовлены продольные (вертикальные) резы использованных в экспериментах образцов. В ходе их изучения было выявлено, что материал образцов не подвергся сколь либо значительным изменениям и деструкции. Характерные виды вертикальных резов образцов представлены на рисунке 8.

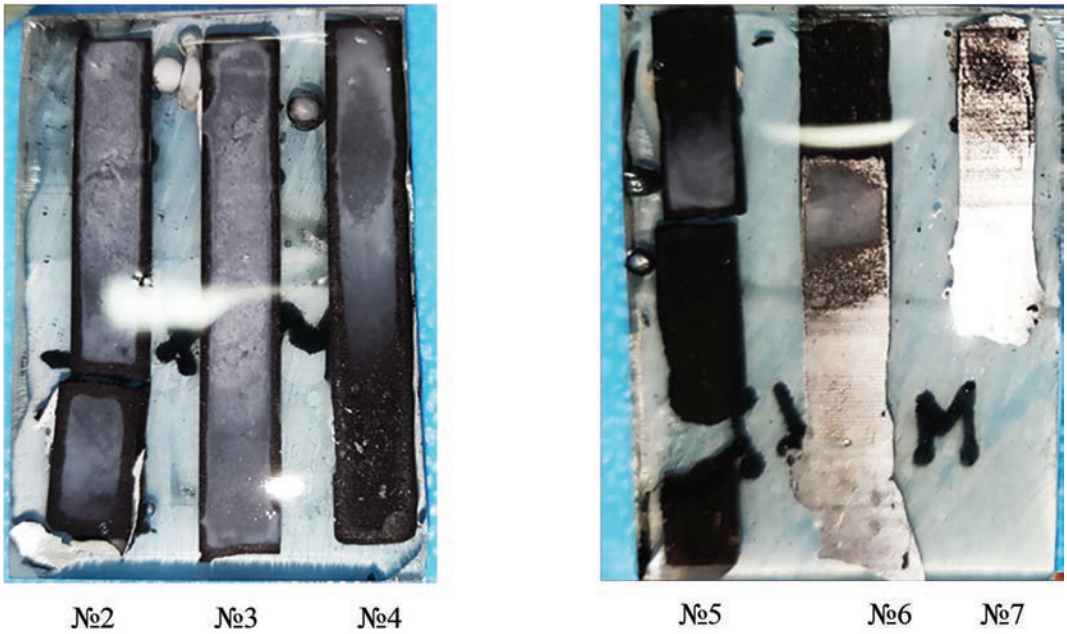


Рисунок 8 – Вертикальные резы керамических образцов № 2 – № 7 (MAX-фаза Zr_2AlC) из эксперимента MAX-2

На основании проведенных исследований можно заключить о беспрецедентной устойчивости, как карбидного, так и композиционных материалов в расплаве, как металлического, так и оксидного кориума вплоть до 2500 °C и эти материалы можно рекомендовать в качестве покрытий и самостоятельных элементов активной зоны с точки зрения их физико-химической устойчивости в расплаве.

5.4 Проведение высокотемпературного термического анализа образцов оксидных материалов в системах Cs_2O-Al_2O_3 и SrO-Al_2O_3

А.В. Тимчук, Е.Б. Шуваева, В.И. Альмяшев, С.А. Витоль

В настоящее время существует пробел в достоверной информации о термодинамических функциях и процессах испарения при высоких температурах, которые требуются для моделирования и предсказания термодинамических данных в бинарных системах, составляющих систему Cs_2O-SrO-Al_2O_3. Эти данные имеют определяющее значение для решения проблем безопасности ядерных технологий, в металлургии, в аэрокосмической технике, а также при получении и эксплуатации стекол, стеклокерамики и покрытий. Исследование ориентировано на восполнение пробела в термодинамических данных в системах Cs_2O-Al_2O_3 и SrO-Al_2O_3. Найденные при проведении высокотемпературного термического анализа

термодинамические данные предполагается использовать для разработки модельных подходов, позволяющих рассчитывать и прогнозировать термодинамические свойства изучаемых систем. Результаты работы способствуют решению фундаментальной научной проблемы предотвращения последствий тяжёлых аварий на атомных электростанциях в части рассмотрения наиболее опасного этапа распространения радионуклидов (соединений цезия и стронция) в окружающую среду.

Данная работа выполнена по договору с СПбГУ в рамках соглашения с Министерством образования и науки РФ № 075-15-2021-1383 по теме «Физико-химическое описание высокотемпературных процессов в многокомпонентных системах для извлечения и утилизации цезия и стронция при ликвидации последствий тяжёлых аварий на атомных электростанциях (INES-7)». В её рамках проведен высокотемпературный термический анализ образцов оксидных материалов в системах Cs_2O-Al_2O_3 и SrO-Al_2O_3 от комнатной температуры до температуры 1373 К, определены температуры фазовых переходов и потери массы образцов оксидных материалов на основе систем Cs_2O-Al_2O_3 и SrO-Al_2O_3.

Для исследования объектов использован метод комплексного термического анализа – совмещения методов дифференциально-термического анализа (ДТА) и термогравиметрии (ТГ). При проведении работ использованы два термических анализатора (рисунок).

а

б

Рисунок – Термические анализаторы: ***а*** – Setaram Setsys Evo 2400; ***б*** – Shimadzu DTG-60

Термический анализатор Setaram Setsys Evo 2400 (рисунок 1а) позволяет проводить ДТА/ТГ в диапазоне температур от комнатной до 1923 К. Установка позволяет проводить исследования в токе воздуха, аргона, аргоно-водородной смеси. Достоинством терманализатора является возможность проведения термического анализа до 1923 К, а существенным недостатком – весовая схема, неустойчивая к колебаниям потока газовой фазы. Термический анализатор Shimadzu DTG-60 (рисунок 1б) позволяет проводить ДТА/ТГ в диапазоне температур от комнатной до 1373 К. Возможно проведение исследований в токе воздуха, аргона и азота.

В ходе выполнения работы был выполнен термический анализ десяти образцов: семи образцов в системе Cs_2O-Al_2O_3 и трёх образцов в системе SrO-Al_2O_3. Обработка кривых ДТА и ТГ сигналов позволила определить температуры фазовых превращений и потери массы

исследованных объектов. Образцы в системе $SrO-Al_2O_3$ характерны отсутствием превращений, связанных с потерей массы и тепловыми эффектами, в температурном диапазоне 25–1100 °C. В то же время образцы в системе $Cs_2O-Al_2O_3$ характерны значительной потерей массы, сопровождающейся эндотермическими тепловыми эффектами. Наблюдаемые в образцах превращения имеют место в сравнительно низкотемпературной области (до 300 °C) и связаны с потерей сорбированной и кристаллизационной воды.

Исходя из полученных данных сделан вывод, что метод синтеза оказывает значительное влияние на термическую стабильность цезийсодержащих образцов, в то время как стронцийсодержащие образцы термически стабильны во всем исследуемом температурном диапазоне. Для объяснения природы эффектов (или их отсутствия) на кривых ДТА и ТГ необходимо проведение физико-химического анализа исходного состояния образца и состояния образца после проведения термического анализа.

5.5 Экспериментальные исследования взаимодействия материалов активной зоны АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ-М при тяжелых авариях

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

Атомная энергетика берет свое начало с создания ядерных установок малой мощности. Реактор первой в мире атомной электростанции АМ-1, запущенной в промышленную эксплуатацию 27 июня 1954 года в Обнинске, имел установленную электрическую мощность 5 МВт. Реакторы малой мощности являются основой атомного флота и многих исследовательских реакторов, которые широко распространены в мире и служат не только научно-исследовательским целям, но и являются основой для воспитания новых поколений специалистов в области атомной науки и техники. Однако атомные электростанции малой мощности (АСММ) практически отсутствуют на рынке гражданской атомной энергетики, несмотря на целый ряд их преимуществ перед традиционными источниками энергии. По данным МАГАТЭ в настоящее время в мире имеется более пятидесяти проектов реакторов малой мощности. Только два типа реакторов находятся в эксплуатации: ВВЭР КЛТ-40С с установленной электрической мощностью 35 МВт на плавучей атомной теплоэлектростанции «Академик Ломоносов» в России и газоохлаждаемые реакторы HTR-PM с установленной электрической мощностью 210 МВт на АЭС «Шидаовань» в Китае. Одна демонстрационная установка – интегральная PWR CAREM установленной электрической мощностью 25 МВт в Аргентине находится на стадии строительства. В последние несколько лет наблюдается резкий рост интереса к АСММ. Экспертные оценки свидетельствуют о высоких перспективах коммерциализации множества из разрабатываемых проектов в ближайшие годы.

Одним из требований к проектам АЭС, в том числе и АСММ, является требования обоснования безопасности создаваемых РУ. Обоснование безопасности РУ невозможно

без проведения расчётно-экспериментальных исследований, позволяющих определить допустимые пределы рабочих параметров РУ, снизить неопределенности в предсказании сценариев проектных и запроектных аварий, выявить существенные эффекты, могущие сказаться на безопасности РУ. Для РУ ШЕЛЬФ-М также необходимо выполнить такое обоснование. Применение в этом проекте новых материаловедческих решений требуют экспериментальной проверки на физико-химическую совместимость материалов.

Экспериментальные исследования процессов высокотемпературного взаимодействия материалов активной зоны, включая процессы окисления ванны расплава, сформированной в случае гипотетической тяжелой аварии, должны обеспечить получение экспериментальной информации, необходимой и достаточной для обоснования безопасности разрабатываемой РУ ШЕЛЬФ-М в случае гипотетических тяжелых аварий. Комплекс экспериментальных установок (КЭУ) «Расплав», использующих для получения расплава метод индукционной плавки в холодном тигле (ИПХТ), а также прототипные материалы РУ ШЕЛЬФ-М позволяет провести подобные исследования.

Работы выполнены в рамках договора с АО «НИКИЭТ» на тему «Экспериментальные исследования взаимодействия материалов активной зоны АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ-М при тяжелых авариях».

В рамках 1-го этапа работ кратко представлена история развития направления малых реакторов для стационарной и транспортной энергетики. Обсуждаются современное состояние и перспективы АСММ в России и в мире. Проведен анализ возможных физико-химических взаимодействий материалов РУ ШЕЛЬФ-М. На основании проведенного анализа сформирована матрица возможных экспериментов, необходимых для обоснования безопасности РУ ШЕЛЬФ-М в случае гипотетических тяжелых аварий.

Общий вид АСММ с реактором малой мощности ШЕЛЬФ-М приведен на рисунке. Реактор представляет собой ВВЭР интегральной конструкции первого контура с внутрикорпусными парогенераторами, компенсатором давления, приводами регулирующих стержней и герметичными экранированными насосами. На станции установлено два турбогенератора, каждый из которых подключен к одному из двух внутрикорпусных парогенераторов. Сам реактор погружен в бассейн с водой, расположенный в нижней части основной стальной защитной оболочки.

Рисунок – Общий вид донной АЭС ШЕЛЬФ-М

Для тепловыделяющих элементов (твэлов) РУ ШЕЛЬФ-М выбрано хорошо зарекомендовавшее себя дисперсное ядерное топливо, которое способно обеспечить повышенную радиационную стойкость топлива при длительной непрерывной эксплуатации.

Однако, в условиях гипотетических тяжелых аварий становится вероятным разогрев активной зоны выше проектных температур вплоть до активного взаимодействия, расплавления и растворения материалов активной зоны друг в друге.

Первичными данными о процессах взаимодействия служат данные о фазовых равновесиях. Наиболее важной фундаментальной информацией при этом является информация о бинарных подсистемах многокомпонентной системы на основе материаловедческих решений РУ ШЕЛЬФ-М.

Как следует из проведённого анализа данных о фазовых равновесиях, даже в бинарных подсистемах наблюдается сложный характер фазообразования. Имеющаяся информация даёт лишь оценочные значения температурных уровней взаимодействия и необходимо исследование прототипных материалов в условиях, приближенных к условиям, возможным при протекании гипотетических тяжелых аварий на РУ ШЕЛЬФ-М.

На основе проведенного обзора по материаловедческим решениям проекта ШЕЛЬФ-М и обзора фазовых равновесий в многокомпонентной системе, отвечающей им, была предложена матрица экспериментов, ориентированных на обоснование безопасности РУ ШЕЛЬФ-М в условиях гипотетической тяжелой аварии. Предложенная экспериментальная матрица охватывает большинство возможных взаимодействий материалов РУ ШЕЛЬФ-М, включая процессы окисления формирующегося расплава и/или системы «жидкость – твердые фазы».

5.6 Сцинтилляционные материалы на основе оксидных эвтектик

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

Актуальность создания новых сцинтилляционных материалов связана с необходимостью расширения порогов детектирования, увеличения пространственного разрешения, обеспечения работоспособности в широком диапазоне температур, условиях повышенной радиационной нагрузки и агрессивной среды, в которых классические сцинтилляционные материалы быстро теряют свои эксплуатационные свойства.

Сцинтилляционные материалы востребованы в исследованиях физики элементарных частиц, в системах радиационной безопасности, в медицине (позитронно-эмиссионная томография) и многих других областях науки и техники. Задача создания нового сцинтилляционного материала, обладающего комплексом улучшенных характеристик по разрешению, светосиле и устойчивости является крайне актуальной.

Потенциальными потребителями нового сцинтилляционного материала являются предприятия, осуществляющие производство дозиметров, радиометров, спектрометров, томографов и другого оборудования, имеющего необходимость детектирования излучения различных видов.

В соответствии с планом работ ОИТА по данному направлению в 2022 году было выполнено следующее:

- отработаны методы синтеза сцинтилляционных материалов;
- проведено исследование сцинтилляционных характеристик образцов (рисунок);
- разработан план проведения следующих экспериментов.

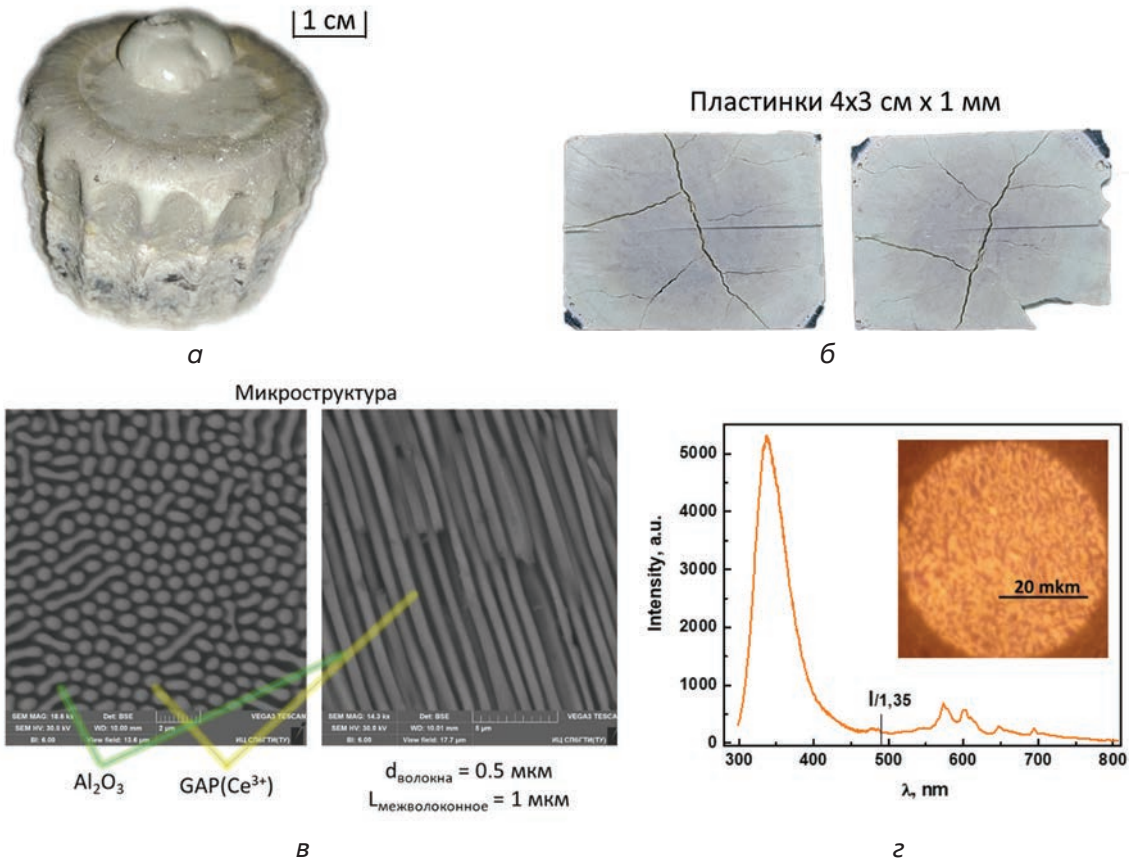


Рисунок – Сцинтилляционный материал на основе оксидных эвтектик:

а – слиток MAG-01; *б* – пластины сцинтилляционного материала, подготовленные из слитка MAG-01;
в – микроструктура сцинтилляционного материала;
г – спектр катодолюминесценции сцинтилляционного материала

В связи с актуальность создания новых сцинтилляционных материалов планируется дальнейшее проведение экспериментальной программы.

6

6. Разработка комплексных систем управления

В.Г. Михалицын

Основные объёмы работ по направлению «Создание комплексных систем управления» выполнялись отделом разработки автоматизированных систем управления технологическими процессами (ЩЗ АСУ ТП).

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

- выполнен анализ задач операторов блочного пункта управления (БПУ) АЭС;
- в целом завершен комплекс работ по учёту человеческого фактора (УЧФ) при проектировании конструкций, систем и компонентов АЭС на стадии технического проекта.

В рамках анализа задач операторов БПУ АЭС «Ханхикиви-1» разработана и согласована методология выполнения анализа, в соответствии с дифференцированным подходом отобраны и проанализированы задачи, влияющие на безопасность АЭС, задачи, являющиеся сложными для исполнения, а также задачи, существенно отличающиеся от аналогичных задач операторов референтной АЭС – Ленинградской АЭС-2.

Комплекс работ по учёту человеческого фактора при проектировании конструкций, систем и компонентов АЭС выполнялся в институте впервые. Требования EPC-контракта и нормативных документов STUK определяли необходимость учёта человеческого фактора не только в проекте пунктов управления, но и в проекте всех остальных конструкций, систем и компонентов АЭС. В рамках работ были формированы общие подходы к УЧФ, разработано руководство по учёту человеческого фактора при проектировании конструкций, систем и компонентов и проведена верификация выполнения требований по УЧФ в техническом проекте технологических систем АЭС.

Из других важных работ, выполненных сотрудниками ОР АСУ ТП в 2022 году, необходимо отметить начальные работы по проектированию человеко-машинного интерфейса БПУ энергоблока № 7 Тяньваньской АЭС:

- разработка инженерных процедур для проектирования видеокадров и панелей управления БПУ;
- разработка предварительных версий видеокадров для автоматизированных

рабочих мест операторов и компоновок резервных панелей управления БПУ энергоблока № 7 Тяньваньской АЭС;

– разработка планов и методик верификации проекта в части учёта человеческого фактора;

– создание для проекта энергоблоков № 7 и № 8 Тяньваньской АЭС информационной системы, обеспечивающей хранение, обработку и отслеживание информации о выявленных в проекте проблемах, связанных с человеческим фактором – Human Factors Engineering Issue Tracking System.

6.1 Анализ задач операторов АЭС «Ханхикиви-1»

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

Введение

Анализ задач является одним из элементов Программы проектирования с учётом человеческого фактора (УЧФ) атомной электростанции (АЭС) «Ханхикиви-1» в соответствии с нормативными документами NUREG-0711 [1] и IAEA SSG-51 [2]. Основная цель анализа задач – описать задачи по эксплуатации и задачи по техническому обслуживанию, проверкам, испытаниям и наблюдению (MITS) достаточно подробно, чтобы определить необходимую поддержку персонала АЭС для надежного выполнения этих задач и предоставить эту информацию в качестве вклада в процесс УЧФ.

В 2022 году специалистами ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» завершена разработка методологии выполнения анализа задач для проекта АЭС «Ханхикиви» с учётом опыта аналогичных работ фирмы «Areva» и опыта выполнения анализа задач для энергоблоков № 1–4 Тяньваньской АЭС, АЭС «Пакш-2» и АЭС «Эль-Дабаа». Детальная проработка методики анализа задач операторов выполнена с учётом принятого в проекте дифференцированного подхода к УЧФ, подхода к управлению ошибками персонала, результатов анализа и распределения функций АЭС, взаимосвязей с другими проектными дисциплинами. В соответствии с разработанной методологией на стадии Технического проекта АЭС «Ханхикиви-1» выполнен анализ задач операторов БПУ для условий нарушения нормальной эксплуатации (DBC2), проектных аварий (DBC3-4), условий расширенного проектирования (DEC) и тяжелых аварий (SA).

Методология

Основным источником информации для анализа задач являются:

– анализ и распределение функций (функциональный анализ) как источник информации о соответствующих технологических функциях и задачах, реализуемых при нормальной эксплуатации в режимах пуска станции, выработки электроэнергии, останова, а также в условиях DBC2, DBC3-4, DEC и SA;

– функциональные архитектуры безопасности АЭС как источники информации о задачах персонала, связанных с функциями безопасности;

– отчеты по обзору опыта эксплуатации как источники информации об опыте эксплуатации предшествующих АЭС в части аналогичных задач, выполняемых персоналом БПУ АЭС;

- вероятностный анализ безопасности (PRA), анализ надежности персонала (HRA) и детерминистические анализы аварий (DAA) как источники информации о критически важных действиях персонала, подлежащих анализу, и оценках влияния систем и функций АЭС на безопасность;
- проектные описания систем АЭС как источники подробной информации о задачах персонала;
- результаты обсуждения задач персонала с проектировщиками систем АЭС как источники подробной информации о задачах;
- архитектура пунктов управления как источник информации о перечне персонала и человеко-машинных интерфейсах блочного пункта управления АЭС «Ханхикиви-1».

В рамках УЧФ при проектировании АЭС применяется дифференцированный подход, который используется для определения объёма работ, выполняемых в рамках проектирования по каждому элементу Программы УЧФ. Дифференцированный подход основан на степени влияния объектов Программы УЧФ, в данном случае задач, выполняемых операторами БПУ, на безопасность и/или на основной технологический процесс АЭС. Для идентификации такого влияния вводятся грейды УЧФ на основании отношения задач персонала к безопасности АЭС и влияния на готовность АЭС. Грейд УЧФ каждой задачи персонала БПУ предварительно определяется на основе класса безопасности, присвоенного функциям, системам и компонентам АЭС, реализующим выполнение этой задачи.

Процесс анализа задач персонала БПУ включает в себя (см. рисунок 1):

- отбор задач персонала, подлежащих анализу;
- анализ отобранных задач персонала, который включает для каждой задачи следующие шаги:
  - иерархическая декомпозиция и детальное описание последовательности выполнения задачи – анализ и документирование последовательности задач и иерархической структуры задачи;
  - определение для задачи грейда УЧФ на основе предварительного грейда УЧФ соответствующей системы или функции, а также зрелости и сложности задачи. Предварительный грейд УЧФ системы или функции определяется в рамках анализа и распределения функций АЭС;
  - сбор подробной информации о задаче для дальнейшего анализа задачи и её подзадач;
  - анализ задачи в виде табличного описания задачи – формирование подробного описания задачи в табличной форме, определение и анализ возможных человеческих ошибок;
  - формирование рекомендаций УЧФ по снижению возможных человеческих ошибок, связанных с выполнением задачи, и документирование этих рекомендаций в форме табличного описания задачи.
  - документирование результатов – выпуск отчета по анализу задач.

Процесс анализа задач является итеративным. Итерации связаны с фазами и стадиями проекта сооружения АЭС. Для процесса сооружения новой АЭС планируется, по крайней мере, две итерации анализа задач: на стадии Технического проекта и на стадии Рабочей документации.

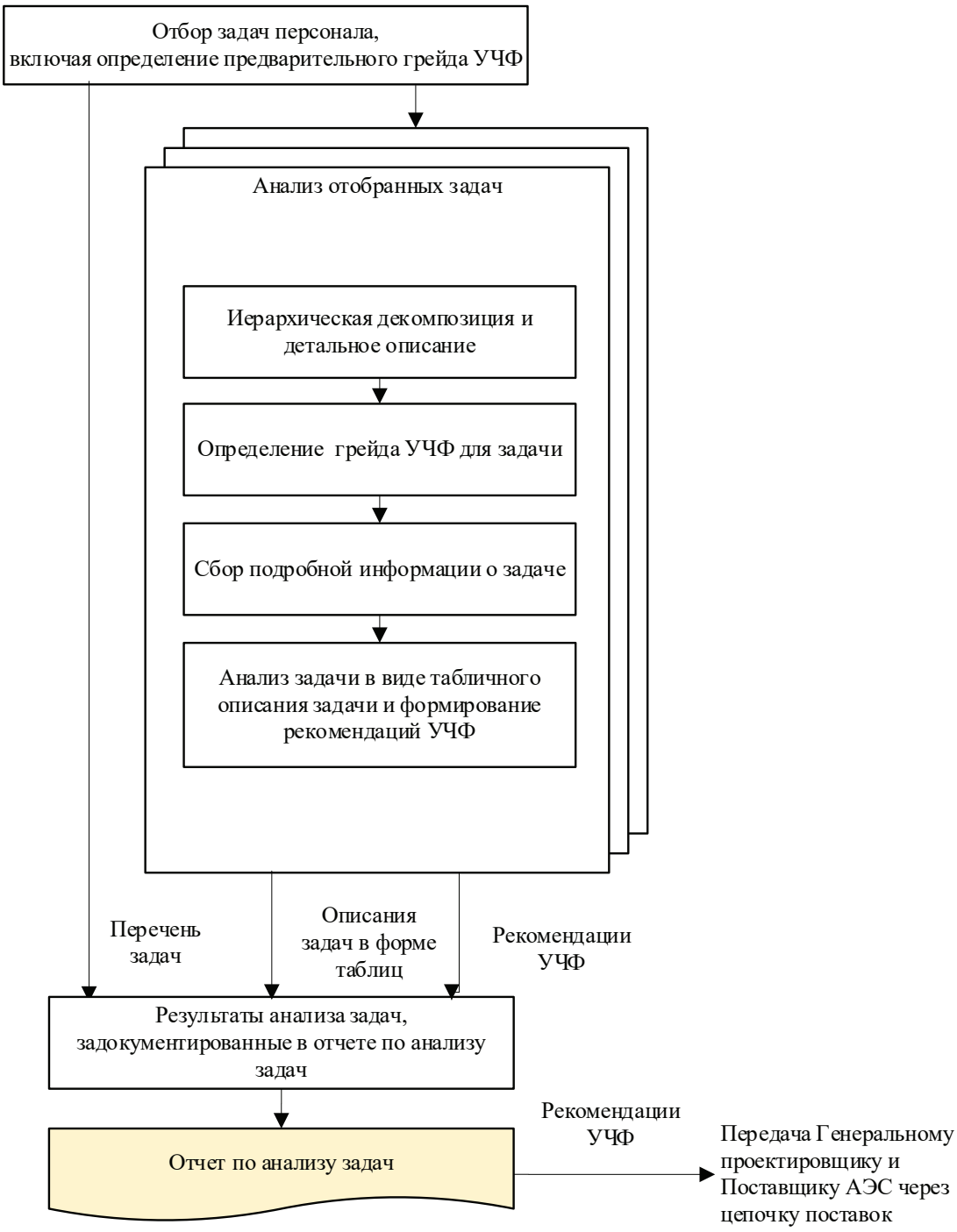


Рисунок 1– Процесс анализа задач

Отбор и декомпозиция задач

В соответствии с положениями Программы УЧФ и Плана качества УЧФ АЭС «Ханхикиви-1» для анализа были отобраны следующие задачи персонала БПУ:

- оперативные задачи персонала БПУ для функций АЭС «Ханхикиви-1» с предварительными грейдами УЧФ A, B, C, и D;
- критически важные действия человека, идентифицированные в вероятностном анализе безопасности и детерминистических анализах аварий.

Кроме того, при отборе задач учитывались дополнительные требования документа NUREG-0711, Рев. 3 [1].

Поскольку функции каждой системы и энергоблока в целом иерархически структурированы, задачи контроля и управления, необходимые для контроля и управления этими функциями также имеют иерархическую структуру.

Декомпозиция различных задач проводится с различным уровнем детализации. Она прекращается, когда описание задач выполнено на уровне детализации, соответствующем цели анализа – выявлению возможных ошибок персонала и рекомендаций по их исключению.

Рассматриваются следующие типовые шаги выполнения задачи персоналом:

- мониторинг и обнаружение событий;
- анализ и диагностика;
- принятие решения;
- выполнение действий – реализация принятого решения.

Декомпозиция задачи выполняется, как правило, в следующей последовательности:

- определенная технологическая задача, которая выполняется вручную или совместно с автоматическими средствами, выбирается в отчете по функциональному анализу;
- задача декомпозируется на подзадачи (если это необходимо), которые нужны для достижения цели задачи;
- каждая (подзадача) декомпозируется на шаги;
- для каждого из указанных шагов описывается последовательность подшагов, и их описание представляется в табличном формате.

Определение грейда УЧФ для задач

Определение грейда УЧФ задачи осуществляется на основе следующих данных:

- предварительный грейд УЧФ системы/функции;
- сложность задачи;
- «зрелость» задачи – наличие положительного опыта эксплуатации АЭС в отношении аналогичных задач персонала.

Проект задачи имеет высокую сложность, если эта задача может характеризоваться хотя бы одним из следующих признаков (в противном случае сложность задачи оценивается как низкая):

– предъявляет высокие требования к персоналу, например, нехватка времени, стресс, экстремальные условия окружающей среды, или неопределенность, сомнения и страх перед нечастыми событиями, все из которых потенциально влияют на возможности персонала;

– создает высокую физическую нагрузку;

– создает высокую когнитивную нагрузку;

– угрожает безопасности персонала, выполняющего задание.

Проект задачи имеет низкую степень «зрелости», если задача является новой (по сравнению с набором задач референтной АЭС) или выполняется с существенными изменениями, или если на референтной станции был негативный опыт эксплуатации, связанный с данной задачей. В противном случае зрелость задачи оценивается как высокая.

Обзор грейдов УЧФ для задач представлен на рисунке 2.

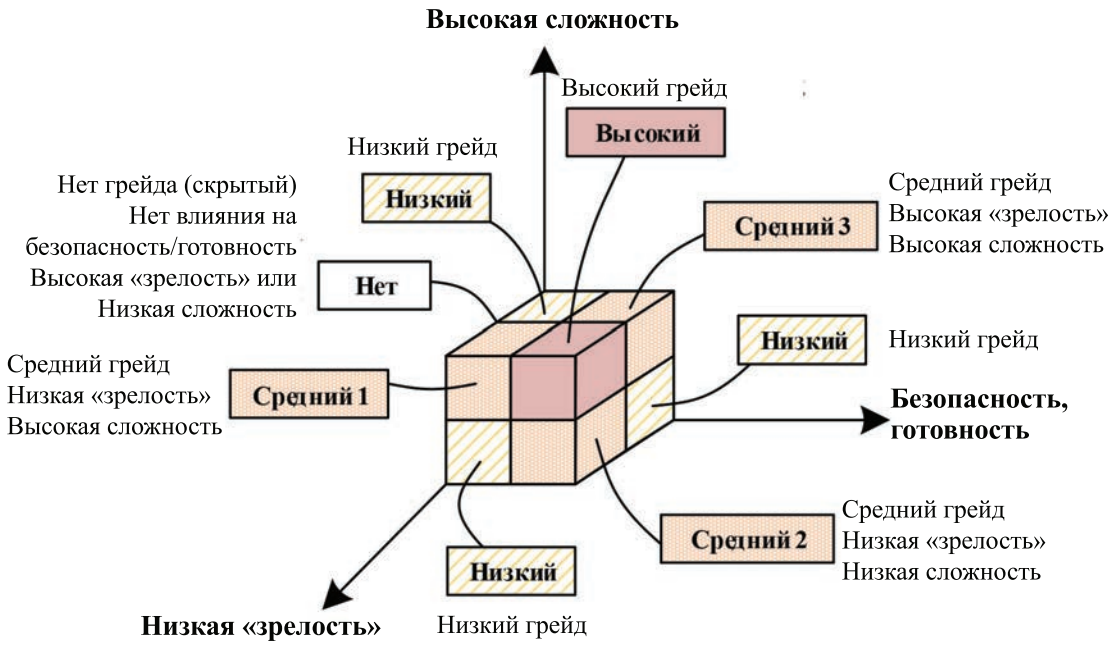


Рисунок 2 – Обзор грейдов УЧФ задач персонала

Дальнейшее выполнение мероприятий УЧФ в рамках анализов УЧФ, разработки руководств УЧФ, верификации и валидации человеческого фактора (ЧФ) (HF V&V) планируется в соответствии с грейдам УЧФ задач персонала:

– нет грейда – не предусматривается целенаправленной работы/усилий по УЧФ. Меры УЧФ ограничиваются требованиями и рекомендациями руководств УЧФ, и проверкой соответствия проекта этим требованиям;

– минимальный грейд (D) – анализ достаточно ли поддержки задачи, предусмотренной в проекте человеко-машинного интерфейса (ЧМИ) для этих задач и выработка рекомендаций, какие средства поддержки следует добавить в проект ЧМИ;

– низкий грейд (C) – выполнить мероприятия УЧФ, соответствующие минимальному грейду, а также анализ возможных ошибок персонала и формирование рекомендаций, какие средства ЧМИ должны быть дополнительно предусмотрены для предотвращения ошибок персонала;

– средний грейд (B1, B2, B3) – выполнить мероприятия УЧФ для низкого грейда, проанализировать возможные ошибки персонала и рекомендовать, какие средства поддержки в ЧМИ, инструкциях и программах обучения должны быть дополнительно предоставлены для предотвращения и смягчения ошибок персонала;

– высокий грейд (A) – выполнить мероприятия УЧФ для среднего грейда, проанализировать возможные ошибки персонала, рекомендовать, какие дополнительные средства поддержки в инструкциях, программах обучения, а также в виде дополнительной организационной поддержки и дополнительных средств автоматизации (если это возможно) должны быть предоставлены для предотвращения и смягчения ошибок персонала и их последствий.

Сбор информации, анализ задач и формирование рекомендаций

При определении характеристик задач в рамках анализа используются предварительные характеристики задач, определенные в функциональном анализе:

– потенциальная нагрузка оператора;

– ограничение времени на выполнение задачи;

– запас времени на выполнение задачи;

– скорость выполнения задачи;

– сложность логического действия;

– типы и сложность принятия решений.

В рамках анализа задач с грейдами A, B1, B2, B3 и C рассматриваются следующие формы и типы ошибок персонала:

– неудачи (ошибки) выполнения – в знакомой и ожидаемой ситуации люди реализуют поведение, основанное на навыке. Намерения человека были правильными, но выполнение действия было ошибочным – сделано неправильно:

– неудачи (ошибки) планирования:

  - ошибки, основанные на правилах – как только ситуация распознается как незнакомая, работа переходит с уровня, основанного на навыках, на уровень, основанный на правилах. Прежде всего, человек пытается решить проблему, полагаясь на набор запомненных правил, и может совершить ошибки, основанные на правилах. Эти виды ошибок зависят от применения хорошего правила (правила, которое успешно использовалось в прошлом) к неправильной ситуации или от применения неправильного правила. В случае неудач (ошибок) планирования человек сделал то, что намеревался сделать, но это не сработало;

  - ошибки, основанные на знаниях – когда мы понимаем, что текущая ситуация не соответствует ни одному из имеющихся правил, мы переходим к поведению, основанному на знаниях. На уровне поведения, основанного на знаниях, мы можем совершать ошибки планирования (ошибки, основанные на знаниях). В основном, они связаны с трудностями, которые мы испытываем при сборе информации обо всех аспектах ситуации, при анализе всех данных и при принятии правильного решения. Планирование основано на ограниченной информации, оно осуществляется с ограниченными временными (и когнитивными) ресурсами и может привести к неудаче.

При рассмотрении возможных ошибок персонала принимаются во внимание следующие допущения:

– персонал имеет достаточно рабочего времени для участия в обучении;
– продолжительность смен, чередование смен и периоды отдыха определены таким образом, чтобы они не влияли на способность персонала выполнять работу, связанную с безопасностью.

Рекомендации по снижению возможных ошибок персонала, формируемые в ходе анализа задач, включают – в соответствии с грейдом УЧФ рассматриваемой задачи – рекомендации по улучшению проекта ЧМИ, инструкций, программ обучения, организационных аспектов выполнения задачи и уровня автоматизации задачи. Рекомендации должны касаться того, как задачи, выполняемые человеком, могут и будут выполняться надежно.

Планируется, что результаты анализа задач (TAn) будут применяться в качестве исходных данных для последующих работ в рамках элементов Программы УЧФ (см. таблицу):

– проектирование ЧМИ;
– разработка инструкций;
– разработка программ обучения персонала;
– верификация и валидация учёта человеческого фактора в проекте БПУ.

Таблица

Результаты анализа задач, используемые в рамках других элементов Программы УЧФ

Элемент УЧФ	Применяемые результаты анализа задач
Обработка критически важных действий персонала	Обработка критически важных действий персонала предоставляет список важных действий персонала для рассмотрения во время анализа задач
Укомплектование персоналом и квалификации	Результаты анализа задач являются входными данными для элемента «Укомплектование персоналом и квалификации» Программы УЧФ
Проектирование ЧМИ	Рекомендации анализа задач для улучшения ЧМИ являются входными данными для процесса проектирования ЧМИ
Разработка процедур	Рекомендации анализа задач являются входными данными для процесса разработки процедур
Разработка программ обучения	Рекомендации анализа задач являются входными данными для процесса разработки программ обучения
Верификация и валидация человеческого фактора (ЧФ)	Внедрение рекомендаций анализа задач и результаты выполнения задач должны быть охвачены в рамках деятельности по верификации и валидации ЧФ
Мониторинг деятельности персонала	Мониторинг деятельности персонала должен быть основан на данных о задачах персонала, собранных во время анализа задач

Заключение

В рамках проектирования АЭС «Ханхикиви-1» анализ задач персонала БПУ АЭС с ВВЭР был впервые выполнен по методике, полностью соответствующей требованиям международного нормативного документа МАГАТЭ SSG-51 [2] и международно признанного нормативного документа США NUREG-0711 [1].

В ходе проведения анализа задач было проанализировано более трёх тысяч задач персонала БПУ проекта АЭС «Ханхикиви-1», в том числе:

- задачи, выполняемые персоналом, постоянно присутствующим на БПУ (операторами, начальником смены);
- задачи, выполняемые другим персоналом БПУ, в том числе «полевыми» операторами.

Анализ задач не выявил задач, для которых ожидаемое время выполнения превышает время, доступное для выполнения задачи.

Рекомендации по предотвращению ошибок персонала сформированы экспертным путем и представлены в отчетах по анализу задач.

Сформированы рекомендации:

- к проекту ЧМИ для более, чем тысячи задач;
- к инструкциям – для пяти задач;
- к программам обучения персонала – для пяти задач.

По результатам анализа было предложено детально рассмотреть более ста задач на последующей стадии проектирования с целью возможной выработки рекомендаций к инструкциям, обучению, организационным мерам и уровню автоматизации с учётом подробных данных по технологическому оборудованию от поставщиков.

Литература

1. NUREG-0711, Рев. 3 «Модель анализа программы проектирования с учётом человеческого фактора», NRC, 2012.
2. IAEA SSG-51:2019 «Проектирование атомных электростанций с учётом человеческого фактора».

6.2 Учёт человеческого фактора при проектировании конструкций, систем и компонентов АЭС «Ханхикиви-1»

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

Введение

Цель учёта человеческого фактора (УЧФ) при проектировании конструкций, систем и компонентов (КСК) – обеспечить, чтобы проект атомной электростанции (АЭС), систем, оборудования, задач персонала и рабочей среды был совместим с сенсорными, перцепционными, когнитивными и физическими характеристиками персонала АЭС при выполнении им работ по техническому обслуживанию, испытаниям и наблюдению состояния КСК АЭС, а также при контроле и управлении состояния КСК [1]. Процесс проектирования КСК принимает во внимание стандарт IEEE 1023 [3], который описывает рекомендуемую практику разработки УЧФ систем, оборудования и средств АЭС.

В 2022 году специалистами ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (далее – «НИТИ») был выполнен ряд работ в данном направлении:

- разработаны общие подходы по учёту человеческого фактора при проектировании конструкций, систем и компонентов сооружаемой АЭС и принципов управления ошибками персонала;
- завершена разработка руководства по учёту человеческого фактора при проектировании КСК, в том числе, разработаны требования по учёту человеческого фактора для использования специалистами различных проектных дисциплин при проектировании КСК;
- определена последовательность и взаимосвязи мероприятий по УЧФ при проектировании АЭС, реализуемых каждой из проектных дисциплин;
- выполнена верификация учёта человеческого фактора в проекте КСК АЭС.

Общие подходы по УЧФ

Конструкции, системы и компоненты – это все компоненты (узлы) установки или деятельности, которые вносят вклад в функционирование и безопасность, кроме человеческих факторов. Конструкции являются пассивными элементами: здания, корпуса, защитные экраны и т.п. Компонент может быть элементом аппаратных средств или элементом программного обеспечения. Система – набор элементов, которые взаимодействуют согласно проекту для выполнения определенной функции, в котором элемент системы может быть другой системой, названной подсистемой [2].

Интеграция УЧФ в проект АЭС «Ханхикиви-1» основана на двух общих подходах:

- подход, ориентированный на руководства – разработка руководящих принципов и правил УЧФ (руководств по УЧФ), их применение, последующая проверка их полного и правильного применения, а также проверка их достаточности;
- подход, ориентированный на экспертизу – основан на участии экспертов по УЧФ, включая инженеров-проектировщиков всех дисциплин на всех этапах проектирования и строительства АЭС, которые инициируют, рекомендуют и обеспечивают решение проблем, выявленных при внедрении руководств по УЧФ.

Ориентированный на руководства подход состоит в последовательной реализации следующих действий:

- разработка руководств УЧФ, содержащих принципы, правила, требования и рекомендации УЧФ, полученные из результатов анализов УЧФ. Эти руководства УЧФ являются входными документами для проектирования пунктов управления, систем, оборудования, зданий и конструкций, а также для разработки процедур по эксплуатации и техническому обслуживанию КСК АЭС;
- применение руководств УЧФ при проектировании пунктов управления АЭС, систем, оборудования, зданий и конструкций, а также при разработке процедур по эксплуатации;
- проверка выполнения требований и рекомендаций, представленных в руководствах УЧФ, при проектировании пунктов управления, систем, оборудования, зданий и конструкций АЭС.

В рамках УЧФ при проектировании КСК применяется дифференцированный подход для определения объёма работ, выполняемых по каждому элементу УЧФ. Дифференцированный подход основан на степени влияния неисправных КСК (после ошибочного

действия персонала) на безопасность и/или на основной технологический процесс АЭС. Для идентификации такого влияния вводятся грейды УЧФ.

Предварительно грейды УЧФ назначаются всем задачам персонала, решаемым с использованием КСК АЭС, на основании:

- их отношения к безопасности АЭС – классов безопасности и степени влияния риска на безопасность согласно риск-информативному подходу к классификации связанных систем;
- их влияния на готовность АЭС.
- Наряду с классификацией по безопасности и значимостью работоспособности, в процессе распределения по грейдам учитываются следующие дополнительные критерии:
- сложность задач персонала – наличие высокой нагрузки на персонал (моторной, вычислительной, или комбинированной деятельности) при решении задач или наличие неблагоприятных условий окружающей среды;
- «зрелость» задачи – наличие положительного опыта эксплуатации АЭС в отношении аналогичных задач персонала.

При проектировании КСК учитывается связанный с УЧФ опыт эксплуатации аналогичных КСК, рассматриваются как отрицательные, так и положительные уроки прошлого опыта, чтобы гарантировать предотвращение любых негативных особенностей, связанных с проектами-предшественниками в текущем проекте, сохраняя при этом положительные черты [1].

Отрицательный опыт – это наличие проблем, связанных с человеческим фактором и выявленных при вводе в эксплуатацию или эксплуатации аналогичных КСК. Положительный опыт – это подтвержденная в процессе эксплуатации надежность, безопасность, ремонтопригодность КСК.

При проектировании КСК уделяется повышенное внимание новым или модифицированным задачам персонала, не имеющим положительного опыта эксплуатации.

Управление ошибками персонала

Управление ошибками персонала (предотвращение ошибок и повышение эффективности их обнаружения и устранения) входит в число задач каждого из элементов программы УЧФ. Анализ прошлых ошибок персонала и их причин (в ходе обзора прошлого опыта работы в части УЧФ) и выявление потенциальных ошибок персонала АЭС (в ходе анализа задач по эксплуатации и техническому обслуживанию) позволяют сформировать требования и руководства по совершенствованию УЧФ в проекте и для последующей верификации и валидации.

Меры по управлению ошибками персонала определяются для каждой конкретной задачи в зависимости от её грейда УЧФ с учётом существующих возможностей и экономической целесообразности.

Для управления ошибками персонала реализуется комплексом методов, обеспечивающих:

- предотвращение ошибок персонала – исключение возможности ошибки персонала путем устранения конструктивных особенностей КСК, известных как источник этой ошибки. Предупреждение ошибок персонала включает в себя методы, которые обеспечивают устранение ошибок персонала или делают систему толерантной к ошибкам персонала;

- выявление и перехват ошибок персонала – обнаружение ошибок и обеспечение возможности их устранения до наступления последствий;
- смягчение последствий ошибок персонала – применение мер, позволяющих уменьшить последствия ошибок.

Предотвращение ошибок персонала реализуется за счет формирования в создаваемых КСК соответствующих функций/свойств, которые снижают возможность совершения ошибки персоналом.

Выявление и перехват ошибок персонала реализуется за счет:

- формирования в КСК соответствующих функций, которые оповещают персонал о возможной некорректности действия;
- организационных мер, позволяющих выявить намерение совершить ошибку и предотвратить её реализацию;
- административные меры, например, предварительные инструктажи, взаимная проверка, надзор.

Смягчение последствий ошибок персонала реализуется за счет формирования технических, организационных и административных мер по устойчивости оборудования и АЭС в целом к ошибкам персонала посредством барьеров защиты оборудования и окружающей среды.

Меры по управлению ошибками персонала планируется формировать в рамках анализа задач, связанных с непосредственным взаимодействием персонала с системами и оборудованием АЭС.

УЧФ при проектировании КСК

В соответствии с дифференцированным подходом УЧФ, предварительный грейд УЧФ определяется в проекте для каждой конструкции, системы и компонента, с которыми взаимодействует персонал во время управления по месту, технического обслуживания, испытаний и наблюдения.

Комплекс мероприятий, необходимых для учёта человеческого фактора в проекте КСК сооружаемой АЭС, выполняется на всех стадиях проектирования, на стадиях монтажа оборудования и ввода АЭС в эксплуатацию в соответствии с назначенным грейдом УЧФ.

На стадии Технического проектирования командой УЧФ были выполнены следующие мероприятия:

- анализ контрактных и нормативных требований УЧФ;
- обзор опыта управления по месту и технического обслуживания КСК, сосредоточенный на аспектах УЧФ;
- разработка руководства по УЧФ при проектировании КСК;
- верификация внедрения руководства УЧФ при проектировании КСК в Технический проект АЭС;

На стадии Технического проектирования проектировщиками систем и зданий были выполнены следующие мероприятия:

- анализ требований УЧФ, относящихся к зоне проектирования;
- назначение предварительного грейда УЧФ функциям, системам и компонентам АЭС;

- проектирование рабочих зон и рабочих мест персонала с учётом руководств УЧФ;
- проектирование расположения и функций станций управления по месту;
- проектирование систем для формирования необходимых условий окружающей среды в рабочих зонах персонала;
- предварительная идентификация задач персонала, взаимодействующего с КСК. Предварительная идентификация возможных критических ошибок персонала. Определение проектных мер для предотвращения, обнаружения и устранения критических ошибок персонала, смягчения их последствий на основе прошлого опыта эксплуатации подобных КСК;
- проверка соответствия проекта КСК предъявляемым требованиям УЧФ.

На стадии Рабочей документации командой УЧФ планировались следующие мероприятия:

- формирование типовых спецификаций требований УЧФ к закупаемому оборудованию АЭС в части ЧМИ, процедур, защиты персонала, предотвращения ошибок персонала;
- анализ задач управления по месту, задач технического обслуживания, испытаний и наблюдения. Разработка дополнительных мер по предотвращению, обнаружению и исправлению ошибок персонала в указанных задачах – рекомендаций по УЧФ для реализации в проекте конструкций/систем/компонентов ЧМИ, инструкциях, программах обучения персонала;
- проверка применения руководств УЧФ на стадии Рабочей документации. Проверка внедрения рекомендаций УЧФ в рабочую документацию КСК, инструкции, программы обучения персонала.

На стадии Рабочей документации проектировщиками систем и зданий, поставщиками КСК и другими дисциплинами планировались к выполнению следующие мероприятия:

- формирование детальных спецификаций требований УЧФ к закупаемому оборудованию АЭС;
- учёт требований УЧФ при уточнении размещения КСК на основании детальной информации об оборудовании, получаемой от поставщиков, уточнение проекта рабочих зон и рабочих мест персонала на основе детальной информации об оборудовании;
- уточнение проекта местных пунктов управления на основе детальной информации об оборудовании;
- учёт требований УЧФ в документации по монтажу КСК;
- уточнение описания задач персонала на основе детальной информации об оборудовании, о требованиях к его эксплуатации и техническому обслуживанию. Уточнение проектных мер по предотвращению, выявлению и исправлению критических ошибок персонала, и смягчению их последствий на основе детальной информации об оборудовании;
- верификация соответствия рабочей документации КСК требованиям УЧФ.

На стадии Технического проекта АЭС требования по УЧФ и проектные решения, касающиеся УЧФ при проектировании конструкций, систем и компонентов, документировались в рамках:

- проектной системы управления требованиями;
- спецификаций требований к системам/зданиям;

- исходных технических требований к оборудованию АЭС;
- отчетов по обзору опыта эксплуатации в части УЧФ;
- руководства по УЧФ при проектировании;
- описаний систем и зданий;
- компоновок помещений и зданий;
- чек-листов и отчетов по верификации УЧФ.

Заключение

При проектировании АЭС «Ханхикиви-1» специалистами НИТИ совместно с АО «Атомэнергопроект» и АО «РАОС Проект» был выполнен ряд мероприятий для систематической интеграции учёта человеческого фактора в проектирование конструкций, систем и компонентов станции. Ранее интеграция УЧФ в проекты АЭС касалась только проектирования блочного и резервного пунктов управления и человеко-машинного интерфейса операторов.

В процесс учёта человеческого фактора при проектировании АЭС было вовлечено множество проектных дисциплин, в том числе:

- проектирование технологических систем;
- проектирование электрических систем;
- проектирование систем контроля и управления;
- проектирование транспортного оборудования;
- архитектурное проектирование и проектирование зданий.

Благодаря междисциплинарному взаимодействию аспекты и проблемы человеческого фактора рассмотрены и учтены при Техническом проектировании систем и зданий АЭС, необходимые требования по УЧФ выдвинуты к изготовителям основного оборудования АЭС, влияющего на надежность и безопасность.

Список литературы

1. NUREG-0711, Рев. 3 «Модель анализа программы проектирования с учётом человеческого фактора», NRC, 2012.
2. Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности «Терминология, используемая в ядерной безопасности и радиационной защите», 2018.
3. IEEE 1023-2020 «Практика, рекомендуемая Институтом инженеров электротехники и электроники (IEEE), для применения проектирования с учётом человеческого фактора к системам, оборудованию и установкам атомных электростанций и других ядерных установок».

7

0.11 μSv/h
1.С.Бор
0.11
2.С.Бор
0.12
Шелепево
0.11
Устьенский
Сосновый
ФОС-1
СТК
0.09

7. Обеспечение радиационной безопасности

В.В. Корноухов

В 2022 году специалисты отдела радиационной безопасности принимали активное участие в продолжающемся и вступающем в активную фазу процессе вывода из эксплуатации (ВЭ) ЯЭУ стенда-прототипа КВ-2. Осуществлялось сопровождение санитарно-эпидемиологической экспертизы проектной документации на ТУК ПГБ и получение заключения о её соответствии санитарно-гигиеническим требованиям, необходимого для реализации проекта ВЭ КВ-2 в установленный срок.

Во второй половине 2022 года в рамках НИОКР специалисты отдела радиационной безопасности приступили к разработке методов и устройств оперативного контроля состояния активной зоны и дефектации ОТВС ЯЭУ, а также АСРК атомной станции малой мощности на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М. В сжатые сроки специалистами института были разработаны и сданы Заказчику (АО «НИКИЭТ») аналитические отчеты с анализом опыта разработки и эксплуатации подобных систем.

При проведении работ по теме «Разработка материалов технического проекта реакторной установки ШЕЛЬФ-М для создания и обоснования безопасности атомной станции малой мощности в части разработки пилотной атомной станции малой мощности на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М» и НИОКР «Разработка автоматизированной системы радиационного контроля АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ» разработан и выпущен Аналитический отчёт с анализом и обоснованием средств и способов, используемых при создании АСРК.

Подготовлен аналитический отчёт о разработке методов и устройств контроля состояния активной зоны РУ ШЕЛЬФ-М. Результаты анализа свидетельствуют, что для раннего обнаружения отклонений от условий нормальной эксплуатации и оперативной оценки состояния активной зоны РУ, наиболее перспективным является применение в технологическом контроле первого контура спектрометрических установок на основе полупроводниковых спектрометрических блоков высокого разрешения, позволяющих в режиме реального времени получать информацию о состоянии тепловыделяющих элементов активной зоны.

7.1 Разработка материалов технического проекта для создания и обоснования безопасности атомной станции малой мощности на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М

Н.М. Петров, В.В. Корноухов, Д.Л. Рипский, Н.С. Зимин, Е.Н. Годон, В.П. Черных, С.В. Батраков, С.Н. Некрестьянов, В.Б. Гайко, М.П. Глухова, Е.Б. Панкина, И.Е. Кольцов, В.Г. Решетник

При проведении работ по теме «Разработка материалов технического проекта реакторной установки ШЕЛЬФ-М для создания и обоснования безопасности атомной станции малой мощности (АСММ) в части разработки пилотной атомной станции малой мощности на базе реакторной установки ШЕЛЬФ-М» и составной части НИОКР «Разработка автоматизированной системы радиационного контроля АСММ на базе РУ ШЕЛЬФ» был разработан и выпущен Аналитический отчёт, раскрывающий способы и средства создания АСРК, удовлетворяющий всем современным требованиям.

Укрупнённо аналитический отчёт состоит из четырёх разделов:

- анализ технических средств нижнего уровня;
- программно-технический комплекс верхнего уровня;
- автоматизированная система контроля радиационной обстановки;
- требования к метрологическому обеспечению.

В первом разделе приведён анализ устройств и блоков детектирования, выпускаемых в настоящее время промышленностью РФ и удовлетворяющих требованиям технического задания на АСРК, в объёме документации обликового проекта «Радиационная защита и контроль. Технологические решения». Особое внимание в этом разделе обращено на возможность применения в составе проектируемой АСРК разработанного в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» комплекса радиометров-спектрометров, который представляет собой современное поколение отечественных автоматизированных приборов для осуществления радиационного технологического контроля, превосходящих по своим характеристикам зарубежные аналоги и позволяющий получить данные, необходимые для контроля основных защитных барьеров как при нормальных условиях эксплуатации, так и при нарушении условий нормальной эксплуатации. Применение спектрометрических методов контроля позволяет осуществлять раннее обнаружение отклонений радиационного состояния за пределы безопасной эксплуатации.

Во втором разделе приведён анализ всех компонентов, составляющих ПТК ВУ АСРК и предложены варианты практической реализации ПТК ВУ АСРК АСММ. В настоящее время разработанная в НИТИ архитектура АСРК является общепринятой, а создаваемые предприятиями России АСРК ОИАЭ, в той или иной степени используют архитектурной решение АСРК, предложенное НИТИ. Реализация ПТК ВУ АСРК ОИАЭ, как правило, отличаются номенклатурой вычислительных средств, конструктивных решений, структурой локальной вычислительной сети ПТК ВУ и программным обеспечением, определяющим функционал и объём АСРК. Учитывая удалённости АСММ от баз снабжения и малочисленность обслуживающего

персонала в предлагаемых вариантах построения ПТК ВУ основной упор делался на надёжность, отказоустойчивость и живучесть ПТК ВУ как составной части АСРК.

В разделе, касающемся ПТК ВУ, рассмотрен и критически оценён весь спектр задач, решаемых ПТК ВУ, требования к составным частям и программному обеспечению. Укрупнённый перечень требований к ПТК ВУ включает в себя следующие подразделы:

- общее описание;
- требования к функционированию системы;
- классификация;
- управление старением;
- резервирование;
- комплектующие изделия и материалы;
- программное обеспечение;
- решения функциональных задач на автоматизированных рабочих местах;
- функциональная структура ПТК ВУ;
- информационное обеспечение;
- организация человеко-машинного интерфейса;
- основные принципы выбора технических средств и комплектующих для ПТК ВУ.

При разработке принципов выбора технических средств и комплектующих, а также предложения по использованию программного обеспечения учитывались существующие на настоящий момент санкционные ограничения.

В четвёртом разделе рассмотрены требования, предъявляемые к современным системам АСКРО, а также варианты применения технических средств радиационного контроля и средств контроля метеорологических параметров. Технические характеристики, количество постов АСКРО и их размещение должны обеспечивать получение объективной информации о радиационной обстановке в режиме нормальной эксплуатации АСММ, а также при аварийных ситуациях. При проектировании АСКРО рекомендуется реализация гибридного мониторинга, составляющего непрерывный автоматизированный контроль радиационной обстановки, периодический лабораторный контроль радиационного состояния объектов природной среды в СЗЗ и ЗН АСММ с РУ ШЕЛЬФ-М, а также контроль метеорологических данных для расчётных оценок воздействия реакторной установки на окружающую среду.

В функциональной структуре АСКРО реализуются следующие функции:

- сбор и первичная обработка информации;
- регистрация результатов измерений и их архивирование;
- обработка информации на основе процедур сравнения (уставочный контроль) и сигнализации о превышении уставок;
- обработка информации на основе модельных расчётов (диагностика и прогнозирование);
- отображение информации.

В разработанном аналитическом отчёте рассмотрен состав технических средств нижнего уровня, состоящий из:

- автоматизированной системы контроля радиационных параметров и отбора аэрозолей атмосферного воздуха – комплекса стационарных средств измерений контролируемых параметров, расположенных на постах АСКРО, и носимых средств контроля;

– автоматизированной системы контроля метеопараметров, состоящей из автоматического метеокомплекса с датчиками для измерения метеопараметров и оборудования для передачи информации на верхний уровень, ветрового содара (лидара) и микроволнового температурного профилемера;
– стационарной радиоэкологической лаборатории;
– системы надёжного электроснабжения.

В отчёте проведён анализ современных технических средств, полностью отвечающих современным требованиям, предъявляемым к АСКРО.

Следует отметить, что набор средств контроля метеопараметров предлагаемой АСКРО может быть использован в качестве полномасштабной метеостанции Росгидромета с учётом размещения АСММ.

В каждом разделе приведён анализ требований к метрологическому обеспечению АСММ. Приведён перечень современных нормативных документов, касающихся как метрологических требований к отдельным измерительным каналам, так и к системе в целом. Предложены пути метрологического сопровождения АСКР в процессе эксплуатации.

7.2 Аналитический отчет по разработке методов и устройств контроля состояния активной зоны РУ ШЕЛЬФ-М

В.В. Корноухов, М.Н. Баев, О.Н. Саранча, Р.В. Червяков

Цель работы: Анализ существующих методов и устройств контроля состояния активной зоны с учётом практического опыта работ во ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова» и требований действующей нормативной документации.

Результаты работы: Рассмотрены и систематизированы варианты построения систем оперативного контроля герметичности оболочек твэл как с использованием различных блоков детектирования интегрального типа, так спектрометрических систем высокого разрешения.

Приведены подробные сведения о спектрометрических системах оперативного контроля герметичности оболочек твэл, в том числе типы детекторов, структурные схемы применяемой электроники, сравнительные оценки характеристик спектрометров, обоснование недостатков и преимуществ.

Проанализирован полный технологический процесс радиохимического контроля теплоносителя с учётом практического опыта работ и требований действующей нормативной документации.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что для более раннего обнаружения отклонений от условий нормальной эксплуатации и оперативной оценки состояния активной зоны реакторной установки, наиболее перспективным является применение в технологическом контроле первого контура спектрометрических установок на основе полупроводниковых спектрометрических блоков высокого разрешения, позволяющих в режиме реального времени получать информацию о состоянии тепловыделяющих элементов активной зоны.

8

8. Внедрение информационных технологий

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

В 2022 году отделом информационных технологий (ОИТ) в рамках утвержденного плана работ выполнялись функции оператора ИТ-услуг и системного администрирования ИТ-ресурсов для подразделений института.

В рамках осуществления Технической политики в области информационных технологий силами ОИТ выполнялись работы по централизованному администрированию подразделений института на основе доменной инфраструктуры, унификации оборудования и офисного ПО, резервированию корпоративных данных на серверах ОИТ.

По состоянию на декабрь 2022 года под администрированием ОИТ находятся:

- 19 серверов, 117 виртуальных машин и 2 системы хранения данных;
- 1300 ПЭВМ.

В настоящее время НИТИ оснащен всеми необходимыми информационными системами, позволяющими вести автоматизированную управленческо-хозяйственную и финансово-экономическую деятельность, включая предоставление необходимой отчетной документации в Госкорпорацию «Росатом», федеральные и финансовые органы.

Работы по внедрению цифровых технологий (цифровизация)

1. На центральном складе института организована и внедрена система цифровой прослеживаемости материальных потоков с применением ЭДО. В рамках проекта выполнены следующие работы:

- создан архив ЭД на сервере;
- предоставлен доступ сотрудникам к архиву ЭД;
- закуплено оборудование для работы со штрих-кодами и сопутствующее программное обеспечение;
- проведены работы по наладке процесса цифровизации;
- разработан механизм выгрузки данных из ЭДО и загрузки их в КИС «Компас».

Проект успешно завершен.

2. Работы по проекту «Апробация базовой версии система полного жизненного цикла изделия (СПЖЦ PLM) «Цифровое предприятие». Работы по данному направлению производились на основании Решения по проектной деятельности Госкорпорации «Росатом».

Цель Создать отечественную импортонезависимую защищенную систему полного жизненного цикла изделий на платформе с открытыми форматами данных

Задача 1 – создание СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие»

Государственная программа «Развитие ОПК»
- **Подпрограмма «Стимулирование развития ОПК»**
  - Мероприятие «Разработка и внедрение прикладного ПО для организаций ОПК»
  - Постановление Правительства РФ №1137 от 31.09.2019

▪ Разработана базовая версия СПЖЦ PLM	▪ 17 программных модулей	IV квартал 2022
▪ Разработаны отраслевые версии СПЖЦ PLM	▪ 26 программных модулей	IV квартал 2027

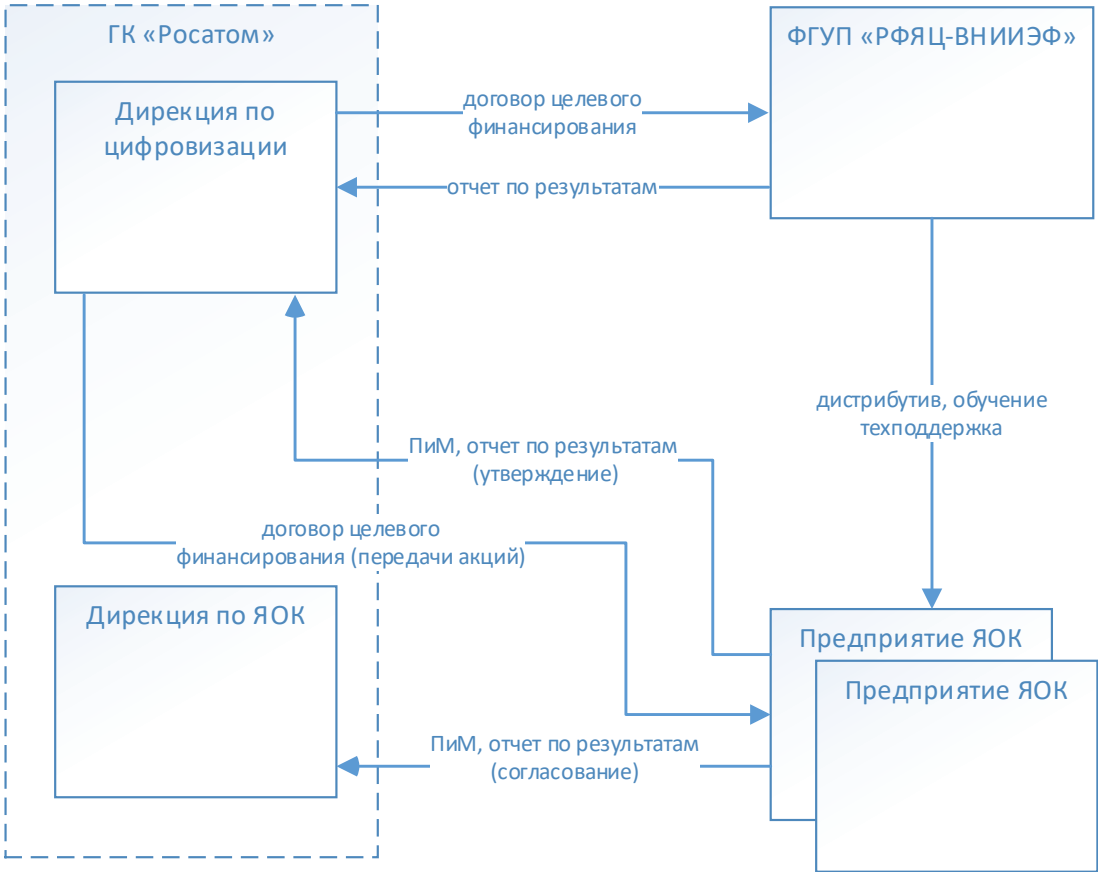
Задача 2 – внедрение СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие»

План мероприятий по созданию и внедрению совместимых цифровых технологий в ОПК
от 30.04.2020 №3829-П-П7, утв. зам. Председателя Правительства РФ Борисовым Ю.И.
- **Раздел «Развитие информационных систем и обеспечение ИБ при использовании совместимых цифровых технологий»**
  - Мероприятия «Разработка и внедрение СПЖЦ PLM»

▪ Пилотное внедрение базовой версии СПЖЦ PLM в организациях ОПК	▪ 10 предприятий	IV квартал 2022
▪ Внедрение отраслевых версий СПЖЦ PLM в организациях ОПК	▪ 50 предприятий	IV квартал 2024

Условием приемки и продолжения работ по созданию СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие» на период 2022-2024 и до 2027 года является реализация проектов по апробации и пилотному внедрению СПЖЦ на предприятиях ОПК

План мероприятий Госкорпорации «Росатом» по разработке и внедрению СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие»



Организационно-договорная схема апробации проекта «Апробация базовой версии СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие»

В рамках проекта выполнялись работы по установке и настройке дистрибутива СПЖЦ PLM, обеспечению и технической поддержке работы пользователей конструкторского отдела и отдела главного механика по апробации СПЖЦ.

Апробация СПЖЦ PLM проводилась на изделии/сборочной единице «Специальные технические приспособления для сборки изделия». Для верификации результатов работы использовалась утвержденная конструкторская документация.

В рамках выполнения работ согласно техническому заданию на примере изделия «Специальные технические приспособления, предназначенные для сборки изделия» проведена апробация процессов:

- конструкторское проектирование;
- технологическая подготовка производства;
- управление информацией;
- нормативно-справочное обеспечение.

По результатам тестирования ПМ СПЖЦ сделан вывод:

- в СПЖЦ присутствует основной функционал, необходимый для работы в рамках процессов жизненного цикла изделия (конструкторское проектирование и моделирование, инженерные расчёты, управление инженерными данными об изделии, технологическое моделирование и проектирование, управление основными данными, научно-справочная информация);
- решения, заложенные в СПЖЦ: кроссплатформенность, реализация на единой платформе прикладных модулей, механизмы по информационной безопасности позволяют в перспективе использовать СПЖЦ на объектах критической информационной инфраструктуры;
- при апробации СПЖЦ выявлены недочеты, указанные в «Протоколе апробации»;
- в рамках апробации сформированы предложения по развитию СПЖЦ.

По результатам работ по апробации СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие» выпущены документы: «Программа и методика апробации базовой версии СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие», «Отчет по результатам апробации базовой версии СПЖЦ PLM «Цифровое предприятие» во ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Проект успешно завершен.

Модернизация СЭД

В целях модернизации системы электронного документооборота (СЭД) института в 2022 году был открыт проект «СЭД ДоксВижн» (далее – Система). Для выполнения работ по внедрению Системы и приобретению прав использования отечественного программного обеспечения был заключен договор с ООО «РКИТ».

В рамках первого этапа проекта решены следующие задачи:

1. Разворачивание ИТ-инфраструктуры под систему (созданы и настроены виртуальные сервера).
2. Поставка программного обеспечения.
3. Утверждение конфигурации решения в результате проведенного анализа и требований к Системе.
4. Установка и настройка двух полигонов Системы: продуктивная среда и тестовая.
5. Подключение рабочих мест пользователей к Системе.

6. Создание справочников.
7. Разработка эксплуатационной документации.
8. Проведение предварительных испытаний.

Рабочей группой проекта проводились совещания с Исполнителем работ для детального описания бизнес-процессов по следующим сценариям:

- управление входящими, исходящими документами;
- управление служебными записками;
- управление организационно-распорядительными документами, включая контроль исполнительской дисциплины;
- управление номенклатурой дел.

Дорожная карта сквозных цифровых технологий

В рамках реализации дорожной карты сквозных цифровых технологий НИТИ введены в промышленную эксплуатацию:

- система учёта получения лечебно-профилактического питания с возможностью аутентификации;
- новые разделы информационного портала института: «Бронирование», «Качество обслуживания», «Решение проблемы» по линии «Культура безопасности»;
- английская версия Интернет сайта НИТИ www.niti.ru и средства обратной связи техподдержки цифровых продуктов НИТИ.

Импортозамещение

В рамках проекта выполнены следующие работы:

- реализован терминальный сервер с Astra Linux 1.7. Это позволило более чем 800 пользователям подключиться к рабочей версии отечественной ОС и сделать первый документ на платформе отечественного офисного приложения;
- централизованно проведена установка офисного пакета «Мой Офис Текст», «Мой Офис Таблицы» и «Мой Офис Презентация» на 800 ПЭВМ в сети ЕМВС;
- введена в промышленную эксплуатацию в ЕМВС и сегменте сети Интернет система удаленного мониторинга и управления «Ассистент», установленная на отечественной серверной операционной системе Astra Linux Воронеж;
- выполнено макетирование типового автоматизированного рабочего места под управлением ОС Astra Linux Воронеж. На ПЭВМ была развёрнута актуальная версия ОС Astra Linux Воронеж с установленным офисным пакетом «Мой Офис». ПЭВМ была обновлена из локального репозитория ОИТ и подключена к домену под управлением FreeIPA (Free Identity Policy Audit);
- выполнена миграция сервиса Zabbix на отечественную ОС Astra Linux SE 1.7. Реализован информационный стенд Zabbix для мониторинга работы серверной инфраструктуры ОИТ, в режиме реального времени на настенный дисплей выводится информация о состоянии серверной инфраструктуры ЦОДИ (температуре в серверных помещениях и сообщения о возникающих ошибках);
- подготовлены и настроены два контроллера домена под управлением Free IPA в сети Интернет, настроены трасты (связи) с Интернет-доменом AD для единой аутентификации пользователей.

9

9. Управление качеством

Управление качеством и развитием производственной системы института

О.Н. Щипалкин, Ю.Н. Пупышев, Р.Т. Селиванова,
В.С. Кухтик, Е.Э. Минчонок

Система менеджмента качества предприятия

Система менеджмента качества (СМК) НИТИ функционирует с 23.12.2009 года. СМК охватывает деятельность всех структурных подразделений института. Основное назначение созданной СМК – это постоянное улучшение деятельности института с учётом потребностей заинтересованных сторон.

СМК является инструментом руководства института для реализации Политики в области качества посредством достижения поставленных целей на основе принципов менеджмента качества.

Политика в области качества института регулярно анализируется и актуализируется. Действующая Политика в области качества утверждена приказом НИТИ от 04.10.2022 № 22/748-П. Политика в области качества отражает основные направления деятельности института на текущий момент и на перспективу, с учётом интересов заказчиков и потребителей продукции, работ и услуг предприятия.

Комплекс работ по разработке, внедрению, поддержанию функционирования и совершенствованию системы менеджмента качества в институте реализуется группой развития и аудита СМК ОУКПСР.

В 2022 году Ассоциацией по сертификации «Русский Регистр» была проведена ресертификационная проверка СМК института на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001: 2015). В результате проверки подтверждено, что СМК ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» соответствует установленным требованиям, обеспечивает требуемую результативность при проведении работ в заявленной области деятельности и постоянно совершенствуется, а также принято решение о выдаче институту сертификата соответствия ГОСТ РВ 0015-002-2020 и о подтверждении соответствия СМК НИТИ требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001: 2015). Действующие сертификаты СМК приведены ниже.

Внедрение СМК, её дальнейшее развитие и совершенствование, применение современных моделей управления в области качества с учётом требований заказчиков, саморегулируемых организаций, органов государственного регулирования безопасности при использовании атомной энергии позволяют повышать эффективность и результативность деятельности подразделений и института в целом и обеспечивают достижение стратегических целей предприятия.

Оценка соответствия продукции

Выполнение работ по оценке соответствия продукции силами персонала эксплуатирующих подразделений-заказчиков и квалифицированным персоналом группы по оценке соответствия продукции ОУКПСР позволяет институту достигнуть следующих целей:

- исключить поставку продукции с несоответствиями, выявляемыми при входном контроле;
- уменьшить сроки проведения входного контроля;
- снизить риски приемки некачественной продукции.

Основной задачей группы по оценке соответствия продукции ОУКПСР при выполнении работ по контролю качества продукции в процессе в её производства является обеспечение выпуска институтом продукции, соответствующей требованиям технической документации, действующим документам по стандартизации, а также Федеральным нормам и правилам в области использования атомной энергии, и предупреждение производственного брака.

В 2022 году основной задачей группы по оценке соответствия продукции ОУКПСР являлся комплекс работ по обеспечению качества продукции, поставляемой при реализации проектов «Реконструкция стенда КМ-1» и «Вывод из эксплуатации ядерной энергетической установки стенда КВ-2», выполняемых в рамках федеральных целевых программ. Успешно завершены работы по созданию «Комплекса защитных камер» и «ИК Ресурс».

В 2022 году силами специалистов ОУКПСР отрабатывался проект по совершенствованию процесса оценки соответствия продукции, позволивший существенно снизить затраты института на организацию работ по оценке соответствия путём обоснованного применения дистанционного порядка освидетельствования контрольных точек.

В течении 2022 года с оценкой соответствия продукции сопровождалось и было принято оборудование по 19-ти Государственным контрактам и Договорам. Вся продукция по результатам входного контроля принята с первого предъявления со 100 % результатом.

Выполнение работ по контролю качества продукции в 2022 году осуществлялось квалифицированным персоналом по следующим приоритетным направлениям:

- участие в изготовлении измерителя линейного импульсно-токового мобильного «ЛИМИТ»;
- участие в контроле при изготовлении и испытаниях «Аппаратуры систем технического диагностирования АСТД»;
- участие в контроле при изготовлении и испытаниях стенда для исследований теплогидравлических процессов в элементах энергетического оборудования «ИСТП».

Наиболее значимые для института работы по оценке соответствия продукции в 2022 году были выполнены по следующим Государственным контрактам и Договорам:

1. Участие в сдаче и приемке в эксплуатацию основного технологического оборудования Комплекса защитных камер.
2. «Изготовление и поставка компрессорной станции мембранного типа в комплекте с панелью управления»;
3. «Изготовление и поставка комплектного нагрузочного устройства».

За значительный вклад в создание Комплекса защитных камер работники ОУКПСР награждены наградами Госкорпорации «Росатом»:

А. П. Смирнов, ведущий инженер по качеству группы по оценке соответствия продукции ОУКПСР, – знаком отличия «За вклад в развитие атомной отрасли» 2 степени;

Ю.Н. Пупышев, заместитель начальника отдела – начальник группы по оценке соответствия продукции ОУКПСР, – благодарностью генерального директора Госкорпорации «Росатом».

Награждение А.А. Смирнова и Ю.Н. Пупышева

Развитие производственной системы предприятия

Производственная система «Росатом» (далее – ПСР) – масштабный отраслевой проект, призванный повысить производительность труда, сократить издержки производства, повысить эффективность производственных и управленческих процессов. ПСР базируется на многолетнем мировом опыте, российских и отраслевых разработках.

ПСР – это культура бережливого производства и система непрерывного совершенствования процессов деятельности предприятия. Бережливое производство – это концепция организации бизнеса, ориентированная на создание привлекательной ценности для потребителя путем формирования непрерывного потока создания ценности с охватом всех процессов организации и их постоянного совершенствования через вовлечение персонала и устранение всех видов потерь.

Внедрение ПСР в институте началось с 2012 года. Вопросы развития производственной системы института ежеквартально рассматриваются на Комитете производственной эффективности под председательством главного инженера института.

Были реализованы значимые для института ПСР-проекты:

1. Совершенствование системы коммерческого учёта тепловой энергии и горячей воды института. Проект был реализован под руководством начальника отдела ОДУиП УЭС Лукконена В.В.
2. Экономический эффект от реализации проекта за три года с 2020 по 2022 гг. составил более 18,5 млн. руб.
3. Организация на центральном складе цифровой прослеживаемости материальных потоков с применением электронного документооборота (ЭДО). Проект был реализован под руководством главного бухгалтера – начальника ДБУ Политовой Ю.А.
4. Экономический эффект от реализации проекта составил 1,1 млн. руб.
5. Повышение энергоэффективности электроэнергетического оборудования в период подготовки к выводу из эксплуатации стенда КВ-1. Проект был реализован под руководством заместителем начальника отделения – начальник отдела вывода из эксплуатации ЯЭУ и ремонта Кононова В.А.
6. Экономический эффект от реализации проекта составил 0,5 млн. руб.

В 2022 году были созданы два модельных участка, соответствующие требованиям ПСР: «Участок теплотехнических средств измерения давления» отдела метрологических исследований и «Участок механической сборки» отделения динамических исследований.

Работниками института было подано за год 111 предложений по улучшению деятельности (ППУ). Был проведен ежегодный конкурс на лучшее ППУ. Призеры конкурса:

В номинации «Повышение эффективности работы оборудования»

1-е место – ОРБ с ППУ «Приспособление для перегрузки закрытого радионуклидного источника гамма-излучения».

В номинации «Повышение уровня безопасности труда»:

1-е место – ОГМ с ППУ «Изготовление специального грузозахватного приспособления для захвата сэндвич панелей».

2-е место – ОГМ с ППУ «Оптимизация процесса выемки металла».

3-е место – ООТиТБ с ППУ «Создание переносного мобильного устройства, имитирующего срабатывание системы оповещения управления эвакуацией людей при пожаре».

В номинации «Повышение производительности труда»:

1-е место – ОМТС и ОИТ с ППУ «Согласование аналитических записок, договоров/контрактов с использованием ЕОСДО».

2-е место – ОМТС и ОИТ с ППУ «Система отслеживания движения ТМЦ в складском учёте».

3-е место – ОУКПСР с ППУ «Улучшение процесса прохождения акта верификации» и ОМТС и ОИТ с ППУ «Автоматический расчёт нормативной численности заведующих складами группы центральных складов.

В номинации «Эффективность использования ресурсов»:

2-е место – ОИТСФЗ с ППУ «Монтаж датчиков по месту, исключив применение нетиповых изделий «СНПО Элерон».

В течение года сертифицированным тренером ОУКПСР Е.К. Минчонок проводилось обучение персонала института курсам ПСР. Обучение прошли по следующим программам:

- Курс «ПСР. Основы» – 83 человека;
- Курс «Виды потерь» – 70 человек;
- Курс «5С» – 70 человек;
- Курс «Картирование» – 84 человека;
- Курс «Методика реализации ПСР-проектов» – 87 человек.

Один из эпизодов обучения руководителей курсу «ПСР. Основы»

10

10. Международное сотрудничество и научно-технические мероприятия

Ю.В. Крюков

10.1 Работа по международным соглашениям и контрактам

В 2022 году сотрудники ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» принимали участие в международном научно-техническом сотрудничестве по следующим направлениям.

1. Поставка эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения

Зарубежный партнёр – УП «Атомтех», Республика Беларусь.

Описание: Разработка, производство и реализация приборов и аппаратуры для ядерных измерений и радиационного контроля.

Имея положительный многолетний опыт сотрудничества с УП «Атомтех» (Минск, Республика Беларусь), а также опыт эксплуатации дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучения производства этого предприятия, специалисты ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», начиная с 2013 года, занимаются поставкой эталонных дозиметрических установок гамма- и нейтронного излучений производства УП «Атомтех» на предприятия и в организации Российской Федерации. Специалисты НИТИ прошли обучение в УП «Атомтех» и получили разрешение на право выполнения всех работ по монтажу, пусконаладке, загрузке источников ионизирующего излучения и сдаче эталонных дозиметрических установок Российскому Заказчику «под ключ».

В 2022 году выполнены работы по:

- диагностике установок УДГ-АТ130 и УПН-АТ140, поставленных по контракту № 305/14/9157/54-18 от 04.06.2014;
- проведению диагностики с целью оценки технического состояния установки дозиметрической гамма-излучения УДГ-АТ130.

2. Предоставление по лицензионному договору программы для ЭВМ «САПФИР_95» центру по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь

Контракт: «Предоставление неисключительного права использования программы для ЭВМ «САПФИР_95»

Зарубежный партнёр – Государственное научное техническое учреждение «Центр по ядерной и радиационной безопасности» МЧС Республики Беларусь.

Программа ЭВМ «САПФИР_95» разработана специалистами ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и предназначена для подготовки эффективных малогрупповых нейтронно-физических характеристик (констант) сборок, активных зон, хранилищ отработавшего ядерного топлива водо-водяных и уран-графитовых реакторов, а также для расчёта нейтронно-физических характеристик ячеек (полиячеек) ядерных реакторов в процессе выгорания:

В рамках работ лицензионного договора права на использование программы «САПФИР_95» переданы ГНТУ до июля 2023 года.

3. Участие в работах по сооружению энергоблоков АЭС за рубежом

В рамках контрактов, заключённых Госкорпорацией «Росатом» по сооружению АЭС за рубежом, сотрудниками подразделений института выполнены следующие работы.

Для АЭС «Ханхикиви-1», Финляндия:

Выполнение роли Менеджера по учёту человеческого фактора (HFE Manager) АЭС «Ханхикиви-1» на стадии Технический проект».

В мае 2022 года работы, выполняемые для АЭС «Ханхикиви-1», остановлены по решению финской стороны. Опыт выполнения работ по проектированию человеко-машинного интерфейса и учёту человеческого фактора, полученный в рамках проекта АЭС «Ханхикиви-1», был востребован в работах по проектам энергоблоков № 7 и № 8 Тяньваньской АЭС и энергоблоков № 3 и № 4 АЭС «Сюйдапу», начавшихся во второй половине 2022 года.

Для АЭС «Руппур» (Бангладеш), «Аккую» (Турция):

«Изготовление из давальческого сырья Заказчика и поставка АСТД для Курской АЭС-2, блок № 1 и 2, АЭС «Аккую» блок № 1 и 2 и АЭС «Руппур» блок №1 и 2».

Для АЭС «ПАКШ-II» (Венгрия):

«Разработка проектной документации по программно-техническому комплексу верхнего уровня АСРК для проекта блоков 5 и 6 АЭС «ПАКШ-II», Венгрия».

Для Тяньваньской АЭС (КНР):

«Разработка заданий заводу-изготовителю на видеокадры и мозаичные панели БПУ/РПУ и материалов для проведения верификации БПУ/РПУ энергоблоков № 7 и № 8 Тяньваньской АЭС».

Для АЭС «Эль-Дабаа» (Египет):

«Выполнение функционального анализа блочного пункта управления и резервного пункта управления для энергоблоков №№ 1-4 АЭС «Эль-Дабаа» на стадии проектной документации»;

«Выполнение работ по анализу, проектированию и обоснованию учёта человеческого фактора в состав глав 3 и 13 предварительного отчета по обоснованию безопасности (ПООБ) для энергоблоков №№ 1-4 АЭС «Эль-Дабаа»;

«Корректировка функционального анализа блочного пункта управления и резервного пункта управления для энергоблоков № 1-4 АЭС «Эль-Дабаа» на стадии проектной документации».

Для АЭС «Сюйдапу» (Китай):

«Разработка заданий заводу-изготовителю на видеокадры и мозаичные панели БПУ/РПУ и материалов для проведения верификации БПУ/РПУ энергоблоков № 3 и № 4 АЭС «Сюйдапу».

Участие в работе международных конференций и совещаний

Сотрудники отдела разработки АСУ ТП участвовали в совещаниях по вопросам АСУ ТП энергоблоков АЭС, сооружаемых за рубежом:

- участие в переговорах по обсуждению технических комментариев Надзорного органа APE (ENRRA) к функциональному анализу и ПООБ для АЭС «Эль-Дабаа» (Египет);
- участие в совместном проектировании видеокадров и панелей БПУ и РПУ ТАЭС-7, 8 (Китай).

Тяньваньская АЭС

10.2 Научно-технические издания, публикации

В соответствии с планом работ на 2022 год отделом научно-технической информации были подготовлены к печати следующие издания.

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ за 2021 год

Научное-техническое издание

УДК-621.039.577.056. ББК-31.46

ГОДОВОЙ ОТЧЁТ за 2021 – Сосновый Бор: ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2022. – 200 с.

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

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

ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ

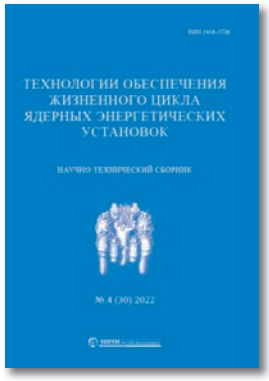
Периодический рецензируемый научно-технический сборник

«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 (27), 2022. – 90 с.

В двадцать седьмом выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» продолжена публикация статей и материалов по актуальным направлениям тематики.

В рубрике ***«К юбилею ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»*** публикуются сообщение и статья, посвященные 119-летию со дня рождения академика А.П. Александрова – основателя Научно-исследовательского технологического института и 60-летию основания ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

В рубрике ***«Информационные сообщения»*** коллектив ФГУП «НТИ им. Александрова и члены редколлегии научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» поздравляют члена-корреспондента РАН, доктора химических наук, профессора, члена редколлегии В.Л. Столярову с юбилеем.

В рубрике ***«Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ»*** публикуются статьи с результатами исследований и разработок, проводимых в обеспечение эффективной и безопасной эксплуатации объектов с ядерными энергетическими установками.

В рубрике ***«Информация для авторов»*** приведены ссылки на Правила подготовки и подачи материалов в редакцию для публикации в научно-техническом сборнике «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок».

Вып. № 2 (28), 2022. – 83 с.

В двадцать восьмом выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» продолжена публикация статей и материалов по актуальным направлениям тематики.

В рубрике ***«К юбилею ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»*** публикуются воспоминания ветерана атомной отрасли, первого руководителя Военного Представительства в НИТИ, д.т.н., профессора Военно-Морского Политехнического Института, Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, капитана 1 ранга в/о А.Я. Благовещенского об истории создания и становления института и его сотрудниках.

В рубрике ***«Информационные сообщения»*** размещены поздравления членам редколлегии научно-технического сборника В.Л. Столяровой – с избранием действительным членом РАН, В.Б. Хабенскому – с 85-летием со дня рождения и В.В. Гусарову – с 70-летием со дня рождения.

В рубрике ***«Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ»*** публикуются статьи с результатами исследований и разработок, проводимых в обеспечение эффективной и безопасной эксплуатации объектов с ядерными энергетическими установками.

В рубрике ***«Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования»*** публикуется статья с результатами исследования свойств аппроксимирующих функций, используемых для расчёта концентраций растворенных газов в теплоносителе первого контура транспортных ЯЭУ.

В рубрике ***«Исследование процессов при авариях на объектах атомной энергетики»*** публикуется статья с оценкой влияния физико-химического воздействия различных веществ, поступающих в контейнмент АЭС с ВВЭР в режимах проектных и запроектных аварий, на производительность рекомбинатора водорода.

Вып. № 3 (29), 2022. – 93 с.

В двадцать девятом выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» продолжена публикация статей и материалов по актуальным направлениям тематики.

В рубрике ***«К юбилею ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»*** публикуется статья о вкладе ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в предотвращение ядерных катастроф и радиационных аварий на береговых технических базах судовых ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Раскрываются особенности проводимых в СССР работ по ликвидации аварийных ситуаций в губе Андреева и бухте Сысоева и роль НИТИ как научного руководителя этих работ. Опыт и знания, накопленные специалистами НИТИ при предотвращении ядерных катастроф и радиационных аварий, использовались в дальнейшем при проведении испытаний и создании технологий жизнеобеспечения прототипов транспортных ЯЭУ.

В рубрике ***«Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования»*** публикуется статья с результатами коррозионного обследования поверхностей оборудования первого контура транспортной ЯЭУ, изготовленного из различных конструкционных материалов. Приводимые в статье данные о составе отложений продуктов коррозии на поверхностях нержавеющей стали, циркониевых и титановых сплавов в первом контуре транспортной ЯЭУ могут быть использованы при выборе и обосновании составов растворов для проведения химической дезактивации внутренних поверхностей контуров ЯЭУ с аналогичным составом конструкционных материалов.

В рубрике ***«Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики»*** представлен обзор с результатами высокотемпературных масс-спектрометрических исследований оксидных систем и материалов, содержащих оксиды цезия и стронция. В работе систематизирована имеющаяся в настоящие время информация о процессах испарения и термодинамических свойствах двойных, тройных и многокомпонентных цезий и стронцийсодержащих систем при высоких температурах, представляющая интерес как для рассмотрения сценариев тяжелых аварий на АЭС, так и для разработки экологически безопасных технологий захоронения радиоактивных отходов.

В рубрике ***«Технологии создания систем контроля и управления ЯЭУ»*** публикуется статья с обзором конструкций фильтров, устанавливаемых перед системой аварийного охлаждения активной зоны ядерного реактора, рассмотрены принципиальные подходы и требования к их проектированию. Дано описание конструкции и основных характеристик фильтра, спроектированного для АЭС-2006 специалистами АО «Атомэнергопроект», приведены основные результаты приемочных испытаний, которые подтвердили правильность подходов, используемых при обосновании и проектировании фильтра, и его фактические показатели.

В рубрике ***«Информационные сообщения»*** публикуется сообщение, посвященное памяти Анатолия Яковлевича Благовещенского, – авторитетного учёного и специалиста по созданию научно-технических основ обеспечения «естественной циркуляции» теплоносителя

в активной зоне ядерного реактора как одного из основных факторов повышения надёжности, безопасности и живучести ядерных энергетических установок. Отмечается значительный вклад А.Я. Благовещенского в формирование идеологии использования наземных стендов-прототипов корабельных ЯЭУ, их технического облика, а также в разработку программ испытаний прототипов транспортных ЯЭУ на стендах НИТИ.

Вып. № 4 (30), 2022. – 82 с.

В тридцатом выпуске периодического рецензируемого научно-технического сборника «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» продолжена публикация статей и материалов по актуальным направлениям тематики.

В рубрике ***«К юбилею ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»*** публикуется статья «Первопроходцы», подготовленная по материалам интервью газете «ТеРа ПРЕСС» ветерана ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» Хабенского Владимира Бенциановича. В своих воспоминаниях он рассказывает о некоторых, известных немногим страницах истории института и о людях, стоящих у его истоков. Статья завершает серию публикаций, посвященных юбилею ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», созданного в 1962 году как Государственная испытательная станция для отработки и испытаний транспортных ЯЭУ на наземных стендах-прототипах.

В рубрике ***«Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ»*** публикуется статья «Особенности использования в теплогидравлических расчётных кодах свойств водяного теплоносителя при переходе в сверхкритическое состояние». На основе анализа литературных данных и опыта

Иллюстрация к статье «Первопроходцы». Рубрика «К юбилею ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

авторов по созданию теплогидравлического расчётного кода КОРСАР охарактеризованы основные проблемы, возникающие при использовании международных стандартов свойств воды и водяного пара при моделировании теплофизических процессов, связанных с переходом через критическую точку. В статье обсуждаются трудности численного моделирования, связанные со слиянием фаз при транскритическом переходе. Предложены пути решения проблем, возникающих при использовании метастабильных состояний при переходе в сверхкритическую область.

В рубрике ***«Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования»*** публикуются статьи, посвященные внереакторной дефектации ОТВС и разработке оборудования для обращения с ЖРО транспортных ЯЭУ.

В статье «Модернизация стенда дефектации ОТВС ЯЭУ транспортного назначения для идентификации микродефектов оболочек дисперсионных твэлов» приведены результаты анализа экспериментальных данных, полученных в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на универсальном стенде дефектации, в рамках разработки методики идентификации микродефектов оболочек дисперсионных твэлов при внереакторной дефектации ОТВС ЯЭУ транспортного назначения.

В статье «Модуль упаривания концентратов жидких радиоактивных отходов ядерных энергетических установок» представлен модуль упаривания концентратов ЖРО, разработанный в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» для модульной мембранно-сорбционной установки очистки и концентрирования ЖРО ЯЭУ. Модуль используется перед стадией цементирования «кубовых» остатков на модульной установке цементирования, позволяя существенно уменьшить объём жидких высококонцентрированных радиоактивных отходов.

В рубрике ***«Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду»*** публикуется статья «Опыт использования специального программного обеспечения для прогнозирования радиационной обстановки в районе расположения радиационно-опасных объектов». В статье приведены результаты использования двух модификаций программного обеспечения «RECASS» для оценки и прогнозирования радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения радиационно-опасных объектов. Показано, что модификации программы, дополняя друг друга, в автоматическом режиме и с возможностью ввода пользователем дополнительной информации, позволяют прогнозировать радиационную обстановку в районе расположения радиационно-опасных объектов, как при их нормальной эксплуатации, так и при наличии аварийных (проектных) выбросов. В качестве иллюстрации приводятся прогнозы радиационного загрязнения атмосферного воздуха, атмосферных выпадений и значений эффективных доз облучения от текущих и аварийных (проектных) выбросов радиационно-опасных объектов ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Распоряжением Минобрнауки России от 12 февраля 2019 года № 21-р научно-технический сборник включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук.

ОТЧЁТ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Информационно-статистическое издание
УДК-621.039.577.056
ББК-31.46
Отчёт по экологической безопасности за 2021 год – Сосновый Бор:
ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», 2022. – 79 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, администрацию Ленинградской области, администрацию МО Сосновоборский городской округ, а также в Территориальный отдел по г. Сосновый Бор ФМБА России.

В отчёте представлены основные сведения по Экологической политике НИТИ, намерениям и принципам соблюдения экологических показателей деятельности института, представляются основные документы, регулирующие природоохранную деятельность НИТИ, планируемые и проводимые институтом работы по внедрению систем экологического менеджмента и менеджмента качества.

В отчёте приводится информация о проводимом в НИТИ производственном экологическом контроле и его видах (в т.ч. АСКРО), а также об экологическом мониторинге, о деятельности и оснащении лабораторий инструментального контроля производственных и экологических факторов. Освещается экологическая и информационно-просветительская деятельность предприятия, включая взаимодействие с органами государственной власти и местного самоуправления, с общественными экологическими организациями, научными и социальными институтами и населением региона.

Основное внимание в отчёте уделяется сведениям о ежегодном воздействии деятельности института на окружающую природную среду и радиационном воздействии на население, приводятся результаты контроля радиационного состояния объектов окружающей среды, включая атмосферный воздух и атмосферные осадки, грунтовые воды, почву и растительность.

Приводимые в отчётах данные многолетней динамики активности годовых сбросов НИТИ неизменно подтверждают безопасную работу стендовых установок предприятия.

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ СОТРУДНИКОВ ФГУП «НИТИ им. А.П. АЛЕКСАНДРОВА»

Публикации в научно-технических периодических изданиях

1. Corrosion behavior of zirconium alloy fuel assembly cladding tubes in the pressurized water reactor's primary circuit / S.N. Orlov [et al.] // International journal of corrosion and scale inhibition. – 2022. – Vol. 11, № 4. – P. 1628-1638.
2. Sorption of ^{137}Cs and ^{60}Co on Titanium Oxide Films in Light Water Reactor Primary Circuit Environment / N.A. Glukhoedov [et al.]. – Электрон. журн. // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 12. – Ст. 4261. – ISSN 1996–1944.
3. Анализ водно-химического режима второго контура транспортных ЯЭУ на основании исследования сорбентов ионообменных фильтров / А.В. Жижин [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 4. – С. 220–225. – ISSN 0004-7163.
4. Артемов, Владимир Георгиевич. Исследование факторов, влияющих на результаты измерений реактивности в экспериментах на критическом стенде с быстрым спектром нейтронов / В.Г. Артемов, Н.С. Нерсесян // Вопросы атомной науки и техники. – 2022. – Вып. 3. – С. 49–61. – (Ядерно-реакторные константы).
5. Артемов, Владимир Георгиевич. Сопоставление многогрупповой и малогрупповой нейтронно-физических модулей малогабаритного газоохлаждаемого реактора с быстрым спектором нейтронов / В.Г. Артемов, Н.С. Нерсесян // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 2(28). – С. 49–59.
6. Буряков, Тимофей Игоревич. Обнаружение следовых количеств взрывчатых веществ в присутствии молочной кислоты методом спектрометрии ионной подвижности / Т.И. Буряков, И.А. Буряков // Журнал аналитической химии. – 2022. – № 1. – С. 28–38.
7. Василенко, Вячеслав Андреевич. Роль ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в предотвращении ядерных катастроф и радиационных аварий на береговых технических базах судовых ЯЭУ / В.А. Василенко, В.Н. Епимахов, Н.М. Петров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 3(29). – С. 10–26.
8. Виногоров, Николай Александрович. Гидродинамический эффект реактивности реактора с водным теплоносителем / Н.А. Виногоров // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 1(27). – С. 43–53
9. Грицай, Антон Сергеевич. Методические аспекты статистического анализа чувствительности динамики ЯЭУ в теплогидравлических расчётах / А.С. Грицай, О.В. Куртометова // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 99–105. – ISSN 0004-7163.
10. Ельшин, Александр Всеволодович. Экспериментальные исследования нейтронно-физических характеристик реакторов ЯЭУ транспортного назначения на стендах-прототипах / А.В. Ельшин, Д.Н. Жуковский // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 68–73. – ISSN 0004-7163.
11. Епимахов, Виталий Николаевич. Мембранно-сорбционная технология очистки и концентрирования низкоактивных жидких отходов транспортных ЯЭУ / В.Н. Епимахов, С.В. Прохоркин // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 80–88. – ISSN 0004-7163.
12. Измерительно-вычислительный комплекс АНИС-В3 / С.П. Витин [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 121–125. – ISSN 0004-7163.
13. Исследование выгорания активной зоны стенда КВ-1 на основе результатов расчётного моделирования и гамма-сканирования ТВС / В.Г. Артемов [и др.] // Технологии

обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 1(27). – С. 31–42.

14. Источники и виды дебриса, образующегося при аварии с потерей теплоносителя на АЭС с ВВЭР // Атомная энергия. – 2022. – Том 133, № 3. – С. 156–164. – ISSN 0004-7163.

15. Лялюев, Дмитрий Владимирович. Технология автоматизации моделирования ТЕРМИТ – инструментальная графическая среда для разработки цифровых двойников, тренажерных и моделирующих комплексов ЯЭУ и энергоблоков АЭС / Д.В. Лялюев // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 93–99. – ISSN 0004-7163.

16. Методические аспекты определения кавитационных запасов для турбопитательного насоса перспективной энергоустановки / И.С. Калинин [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 1(27). – С. 73-85.

17. Мигров, Юрий Андреевич. Некоторые проблемы длительного пассивного расхолаживания энергоблоков АЭС с ВВЭР в авариях с потерей теплоносителя первого контура / Ю.А. Мигров, А.Н. Гудошников // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 105–109. – ISSN 0004-7163.

18. Моделирование потвэльного энерговыделения в нестационарных режимах ВВЭР / В.Г. Артемов [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 2(28). – С. 38–48.

19. Моделирование пространственной гидродинамики в активной зоне реакторной установки стенда КМ-1 / А.В. Вакарин [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 2(28). – С. 26–37.

20. Модернизация стенда дефектации ОТВС ЯЭУ транспортного назначения для идентификации микродефектов оболочек дисперсионных твэлов / Р.В. Фоменков [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 4 (30). – С. 31–40.

21. Модуль упаривания концентратов жидких радиоактивных отходов ядерных энергетических установок / В.Н. Епимахов [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 4 (30). – С. 41–52.

22. Морфология и фазовый состав оксидных пленок и отложений продуктов коррозии в парогенераторе реакторной установки БН-800 / Б.А. Гусев [и др.] // Теплоэнергетика: ежемесячный теоретический и научно-практический журнал. – 2022. – № 3. – С. 92–99.

23. Направления развития системных теплогидравлических расчётных кодов нового поколения / В.А. Василенко [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 1(27). – С. 54–72.

24. Нейтронно-физические модели для комплексных испытаний транспортных ЯЭУ на наземных стендах-прототипов / В.Г. Артемов [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 74–80. – ISSN 0004-7163.

25. Орлов, Сергей Николаевич. Расчётное моделирование концентрации аммиака и газообразных продуктов в теплоносителе первого контура транспортных ЯЭУ / С.Н. Орлов, А.А. Змитродан, Е.Е. Щербаков // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – N 2(28). – С. 61–78.

26. Отдел химико-технологических исследований Научно-исследовательского технологического института им. А.П. Александрова / Л.Н. Москвин [и др.] // Журнал аналитической химии: научный журнал. – 2022. – № 3. – С. 282–294.

27. Панкина, Елена Борисовна. Опыт использования специального программного обеспечения для прогнозирования радиационной обстановки в районе расположения

радиационно-опасных объектов / Е.Б. Панкина, М.П. Глухова // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. –№ 4 (30). – С. 51–77.

28. Первопроходцы. К юбилею ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 4 (30). – С. 10–19.

29. Проектирование фильтров, устанавливаемых перед системой аварийного охлаждения активной зоны ядерного реактора / Л.А. Матюшев [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 3(29). – С. 74–88.

30. Разработка технологий защитного оксидирования оборудования II контура реакторной установки БН-800 / Б.А. Гусев [и др.] // Теплоэнергетика . – 2022. – № 4. – С. 64-69.

31. Расчётно-теоретические исследования теплофизических и физико-химических процессов при тяжелых авариях на АЭС с ВВЭР / В.Б. Хабенский [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 116–121. – ISSN 0004-7163.

32. Совершенствование мониторинга конденсатно-питательных систем ЯЭУ по аналитическому контролю состава водных технологических сред / Н.Я. Вилков [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 3. – С. 163–166. – ISSN 0004-7163.

33. Сокольцев, Артем Витальевич. Особенности использования свойств водяного теплоносителя в теплогидравлических расчётных кодах при транскритическом переходе / А.В. Сокольцев, И.Г. Данилов // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 4 (30). – С. 20–30.

34. Состав отложений продуктов коррозии на поверхностях первого контура транспортной ЯЭУ / А.А. Ефимов [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 3(29). – С. 27–36.

35. Термодинамические свойства и процессы испарения оксидных систем, содержащих цезий и стронций, необходимые для анализа последствий тяжелых аварий на АЭС при высоких температурах / В.Л. Столярова [и др.] // Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок: научно-технический сборник. – 2022. – № 3(29). – С. 37–73.

36. ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» – стендовая база для отработки, испытаний и исследований транспортных ЯЭУ различного типа и назначения / В.А. Василенко [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 63-67. – ISSN 0004-7163.

37. Физико-химические формы йода в теплоносителе первого контура ЯЭУ с аммиачным водно-химическим режимом = Physicochemical Forms of Iodinein the Primary Coolant of a Nuclear Power Plant with Ammonia Water Chemistry / Л.Н. Москвин [и др.] // Радиохимия = Radiochemistry. – 2022. – Том 64, № 2. – С. 150–157.

38. Химическая дезактивация первых контуров транспортных ЯЭУ / А.М. Алешин [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 88–92. – ISSN 0004-7163.

39. Экспериментальное исследование взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя со сталью оболочек твэлов / В.И. Альмяшев [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2022. – Вып. 2. – С. 89–101. – (Ядерно-реакторные константы).

40. Экспериментальное исследование кризиса теплоотдачи на поверхности УЛР в условиях кипения борированной воды с дебрисом // Атомная энергия. – 2022. – Том 133, N 3. – С. 170–174. – ISSN 0004-7163.

41. Экспериментальные исследования тяжелых аварий на АЭС / В.И. Альмяшев [и др.] // Атомная энергия. – 2022. – Том 132, № 2. – С. 110–116. – ISSN 0004-7163.

Тезисы докладов на научно-технических конференциях

1. Ананьев А.В. Об оценке погрешности расчёта реактивности методом анализа неопределенности и чувствительности при верификации нестационарных нейтронно-физических программ / А.В. Ананьев, В.Г. Артемов // Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики. «Нейтроника 2022»: сборник тезисов докладов научно-технической конференции; 31 мая – 3 июня 2022 г., Обнинск. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2022. – С. 78.
2. Артемов В. Г. Исследование факторов, влияющих на результаты измерений реактивности в экспериментах на критическом стенде с быстрым спектром нейтронов / В.Г. Артемов, Н.С. Нерсесян // Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики. «Нейтроника 2022»: сборник тезисов докладов научно-технической конференции; 31 мая – 3 июня 2022 г.,Обнинск. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2022. – С. 97.
3. Годон, Л.А. Исследование процессов каталитического электромембранного восстановления нитратионов в водных растворах / Л.А. Годон, А.А. Цапко // МЕМБРАНЫ-2022. XV Юбилейная всероссийская научная конференция (с международным участием): тезисы докладов. – М.: РХТУ, 2022. – С. 468–470.
4. Годон, Л.А. Исследование процессов электродеионизационной регенерации ионитов / Л.А. Годон, Ю.В. Цапко // МЕМБРАНЫ-2022. XV Юбилейная всероссийская научная конференция (с международным участием): тезисы докладов. – М.: РХТУ, 2022. – С. 471–473.
5. Григорьев М.С. Верификация и валидация учёта человеческого фактора при проектировании пунктов управления: доклад / М.С. Григорьев, К.А. Маслова, В.Г. Михалицын // Ввод АЭС в эксплуатацию : 6-я международная научно-техническая конференция; сборник тезисов докладов. – М.: АО «Атомтехэнерго», 2022. – С. 21–22.
6. Ельшин А.В. Уравнения метода поверхностных гармоник в прямоугольной и треугольной решетке с несимметричными ячейками / А.В. Ельшин // Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики. «Нейтроника 2022»: сборник тезисов докладов научно-технической конференции; 31 мая – 3 июня 2022 г.,Обнинск. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2022. – С. 52–53.
7. Иорданский М.Ю. Обеспечение безопасного обращения с ОЯТ стенда КМ-1 ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» / М.Ю. Иорданский, В.Ю. Соколов // Теплофизика реакторов нового поколения (Теплофизика 2022): научно-техническая конференция; тезисы докладов; 14–16 сентября 2022 г., Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ. – Обнинск: АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», 2022. – С. 148–149.
8. Методические аспекты радиационного мониторинга аэрозолей атмосферного воздуха в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» / К.Г. Борисова [и др.] // Радиохимия – 2022: X Российская конференция; сборник тезисов; 26–30 сентября 2022. – СПб., 2022. – С. 194.
9. Моделирование пространственной гидродинамики в активной зоне реакторной установки стенда КМ-1 / А.В. Вакарин [и др.] // Теплофизика реакторов нового поколения (Теплофизика 2022) : научно-техническая конференция; тезисы докладов; 14–16 сентября 2022 г., Обнинск: ГНЦ РФ – ФЭИ. – Обнинск: АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», 2022. – С. 62–63.

10. Орлов С.Н. Дезактивация оборудования ЯЭУ со свинцово-висмутовым теплоносителем / С.Н. Орлов, А.А. Змитродан, П.Н. Зуев // Радиохимия – 2022: X Российская конференция; сборник тезисов; 26–30 сентября 2022. – СПб., 2022. – С. 298.

11. Политова А.А. Моделирование с помощью комплекса программ CFGABH_95RC_ВВЭР экспериментов по оценке эффективности органов регулирования при сбросе одиночного стержня / А.А. Политова, Р.Э. Зинатуллин // Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики. «Нейтроника 2022»: сборник тезисов докладов научно-технической конференции; 31 мая – 3 июня 2022 г., Обнинск. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2022. – С. 102.

12. Результаты моделирования потвэльного энерговыделения в эксперименте по отключению двух смежных из четырёх работающих главных циркуляционных насосов на РУ ВВЭР-1000 / В.Г. Артемов [и др.] // Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики. «Нейтроника 2022»: сборник тезисов докладов научно-технической конференции; 31 мая – 3 июня 2022 г.,Обнинск. – Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2022. – С. 69.

13. Экспериментальное исследование взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя со сталью оболочек твэлов: тезисы докладов / В.И. Альмяшев [и др.] // Теплофизика реакторов нового поколения (Теплофизика 2022) : научно-техническая конференция; тезисы докладов; 14–16 сентября 2022 г., Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ. – Обнинск: АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», 2022. – С. 30.

14. Экспрессная методика контроля радионуклидов йода в теплоносителе ВВЭР / А.А. Цапко [и др.] // Радиохимия-2022: X Российская конференция; сборник тезисов; 26–30 сентября 2022. – СПб., 2022. – С. 182.

10.3 Управление интеллектуальной собственностью

В 2022 году получены патенты на изобретения:

ПАТЕНТ № 210628
«Дожигатель водорода»

Авторы: Алексеенко С.А., Амосов А.А., Вишнякова Н.Б., Горшков А.И., Кирюшкин М.Ю., Прохоркина О.В., Щербаков Е.Е.

ПАТЕНТ № 2782570
«Способ удаления радиоактивных загрязнений из первого контура ядерных энергетических установок малой мощности»

Авторы: Орленков И.С., Орлов С.Н., Змитродан А.А., Гусев Б.А., Алешин А.М.

ПАТЕНТ № 2783915
«Способ определения теплопроводности оксидной корки»

Авторы: Альмяшев В.И., Грановский В.С., Хабенский В.Б., Витоль С.А., Гусаров В.В., Крушинов Е.В.

ПАТЕНТ № 2790147
«Способ контроля герметичности оболочек твэлов облученных тепловыделяющих сборок транспортных ядерных энергетических установок»

Авторы: Щербаков Е.Е. Кирюшкин М.Ю., Горшков А.И., Епимахов В.Н., Саранча О.Н., Подшибякин Д.С., Цапко А.А.

Программы для ЭВМ/базы данных

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 2022619253
«CRC15

Авторы: Пискарев А.В., Кузнецов А.Н.

СВИДЕТЕЛЬСТВО № 2022681219
«МЕТРОНОМ»

Авторы: Волков А.Ю., Стельмашук Д.А., Крицак О.А., Крицак Ю.С.

КОНКУРС НАУЧНЫХ И ИНЖЕНЕРНЫХ РАБОТ

В 2022 году на конкурс были представлены пять работ в номинации «Научные работы» и восемь работ в номинации «Инженерные работы». По результатам голосования были определены победители.

Лучшими научными работами за 2022 год признаны

I место

«Разработка методики и обоснование теплотехнической надежности активной зоны установки»

Авторы: Артемов В.Г. (ОНФИ), Грицай А.С., Сысоева С.В., Ярушин А.В. (ОТФИ)

Награждение сотрудницы отдела ОТФИ Сысоевой С.В.

II место

«Экспериментальные исследования высокотемпературного взаимодействия расплава свинцового теплоносителя и оболочечной стали с модельным нитридным топливом и бетоном РУ БРЕСТ»

Авторы: Тимчук А.В., Шуваева Е.Б., Сулацкий А.А., Крушинов Е.В. (ОИТА), Горшков А.И. (ОХТИ)

Награждение сотрудников отделов ОИТА и ОХТИ, занявших II место в конкурсе научных работ

III место

«Создание комплексной математической модели установки и систем стенда в составе расчётно-моделирующего комплекса»

Авторы: Зарубин Е.В., Калинина Е.В., Костров И.В., Погорелов В.С., Тепляков Д.Б. (ОДИ)

Награждение сотрудников отдела ОДИ, занявших III место в конкурсе научных работ

Лучшими инженерными работами за 2021 год признаны

I место

«Автоматизированная система метрологического учёта метрологического оборудования «МЕТРОНОМ»»

Авторы: Стельмашук Д.А., Крицак О.А., Крицак Ю.С. (ОДИ), Волков А.Ю. (ОМИ)

Награждение сотрудников отделов ОДИ и ОМИ, занявших I место в конкурсе инженерных работ

II место

«Повышение надежности функционирования системы поглощения газов»

Авторы: Амосов А.А., Горшков А.И., Дронов Д.А., Мельниченко А.Н., Прохоркина О.В., Соловьев К.Е., Щербаков Е.Е. (ОХТИ)

Награждение сотрудников отдела ОХТИ, занявших II место в конкурсе инженерных работ

III место

«Многофункциональный измеритель линейный импульсно-токовый мобильный (переносной) «ЛИМИТ»»

Авторы: Жуковский Д.Н., Иванов С.И., Малохатка В.В., Струков М.А. (ОНФИ), Кутьин А.В. (ОДИ), Божьева Л.И., Гурленова О.Е. (КО), Толстова В.Г. (ОМИ)

Награждение сотрудников отделов ОНФИ, ОДИ, КО и ОМИ занявших III место в конкурсе инженерных работ

Лучшая научно-исследовательская работа

В Международном центре делового сотрудничества в Санкт-Петербурге состоялось торжественное вручение дипломов лауреатам премий губернатора Ленинградской области 2022 года за вклад в развитие науки и лучшие научные работы. В День российской науки подвели итоги двух ежегодных конкурсов на получение премий губернатора: **«За вклад в развитие науки и техники в Ленинградской области»** и **«За лучшую научно-исследовательскую работу»**. Лауреатами стали семь ученых 47 региона, среди них наш коллега – начальник группы химических технологий отдела химико-технологических исследований С.Н. Орлов. Работа, посвященная совершенствованию контроля барьеров безопасности транспортных ядерных энергетических установок (ЯЭУ), была отмечена наградой первой степени.

Молодёжный конкурс инженерных и научных проектов «От идеи к жизни»

В сентябре 2022 года подведены итоги конкурса «От идеи к жизни» для молодых сотрудников, задачами которого стали поиск новых направлений развития в гражданской тематике, реализация творческого потенциала и развитие инновационной активности молодых сотрудников института, создание условий для их карьерного и личностного роста.

В качестве экспертов были приглашены советник отдела гражданской продукции ДЯОК Госкорпорация «Росатом» Е.А. Каплиенко, директор по трансферту технологий АО «Русатом РДС» А.В. Кулиш, директор по коммерческим вопросам АО «Русатом РДС» А.И. Кинзеев, заместитель генерального директора по акселерации ООО «Иннохаб» А.А. Спирин, начальник отдела химико-технологических исследований ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» И.В. Мирошниченко.

Победителями конкурса «От идеи к жизни» стали:

I место с проектом «Установка для получения чистой воды, работающая на принципе мембранной дистилляции в хроматомембранном модуле» команда ОХТИ в составе: Г.А. Змитродана и А.Н. Мельниченко.

II место с проектом «Система визуализации научных расчётов и экспериментов» команда ОНФИ (А.В. Ананьев, Д.Ю. Бессонов, А.Н. Кузнецов, Б.К. Макаров)

III место с проектом «Программно-аппаратный комплекс точного времени «Машина времени» команда ОИТ, ОДИ (Н.А. Коротицкий, А.В. Соболев).

Награждение победителей конкурса «От идеи к жизни»

Выступление участников конкурса «От идеи к жизни»

10.4 Участие специалистов НИТИ в семинарах и конференциях

«НЕЙТРОНИКА-2022»

31-я Всероссийская научно-техническая конференция «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики» проводилась с 31 мая по 3 июня 2022 года в г. Обнинске. Учредители мероприятия — Госкорпорация «Росатом», АО «ГНЦ РФ-ФЭИ» и отечественное Ядерное общество. Мероприятие приурочено к 60-летию физического пуска критического стенда БФС-1.

На конференции обсуждались современные научные проблемы нейтронной физики и безопасности ядерных реакторов, включая стратегические вопросы развития атомной энергетики и топливного цикла, а также нетрадиционные применения реакторных технологий.

В работе конференции приняло участие более 130 специалистов ведущих российских предприятий отрасли, отраслевых вузовских и академических организаций России, из которых половина – молодые специалисты. В 2022 году совместно с Музеем мировой атомной энергетики впервые была проведена научно-историческая молодёжная секция.

Постоянными участниками конференции являются сотрудники отдела нейтронно-физических исследований (ОНФИ) ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

В рамках секции «Численные методы, алгоритмы и программы нейтронно-физических расчётов» выступили:

- д.т.н., начальник ОНФИ А.В. Ельшин с докладом «Уравнения метода поверхностных гармоник в прямоугольной и треугольной решетке с несимметричными ячейками»;
- начальник лаборатории ОНФИ А.Н. Кузнецов с докладом «Результаты моделирования потвэльного энерговыделения в эксперименте по отключению двух смежных из четырёх работающих главных циркуляционных насосов на РУ ВВЭР-1000».

В ходе работы «Молодежной секции» выступали:

- инженер 3 категории ОНФИ А.В. Ананьев с докладом «Об оценке погрешности расчёта реактивности методом анализа неопределенности и чувствительности при верификации нестационарных нейтронно-физических программ»;
- научный сотрудник ОНФИ Н.С. Нерсесян с докладом «Исследование факторов, влияющих на результаты измерений реактивности в экспериментах на критическом стенде с быстрым спектром нейтронов»;
- инженер ОНФИ А.А. Политова с докладом «Моделирование с помощью комплекса программ САПФИР_95&RC_ВВЭР экспериментов по оценке эффективности органов регулирования при сбросе одиночного стержня».

Сотрудники ОНФИ на 31-й Всероссийской научно-технической конференции «Нейтроника-2022»

«ТЕПЛОФИЗИКА-2022»

Значимое событие для научного сообщества физиков состоялось с 14 по 16 сентября на площадке Физико-энергетического института им. А.И. Лейпунского (АО «ГНЦ РФ-ФЭИ») в г. Обнинске. Научно-техническая конференция «Теплофизика реакторов нового поколения (ТЕПЛОФИЗИКА-2022)» уже много лет собирает лучших специалистов в области теплофизики – одной из ведущих наук, обеспечивающих безопасность ядерных реакторов.

Мероприятие посетили свыше 150 ученых и специалистов. На конференции обсуждались научные и технические вопросы обоснования технологических, конструкторских решений и безопасности реакторов нового поколения на тепловых и быстрых нейтронах, результаты фундаментальных и поисковых исследований гидродинамики, тепло- и массообмена, физической химии и технологии жидких металлов, а также использование жидкометаллических теплоносителей и технологий в неядерных областях экономики России.

Среди представителей 23 организаций и предприятий Госкорпорации «Росатом», Российской академии наук и ВУЗов участие в конференции приняли и сотрудники ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

В первый день работы конференции на пленарном заседании начальник отдела исследования тяжелых аварий В.И. Альмяшев выступил с докладом «Экспериментальное исследование взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя со сталью оболочек твэлов». Работа, выполненная коллективом авторов (В.И. Альмяшев, А.А. Сулацкий, С.В. Витоль, Е.В. Крушинов, С.Ю. Котов, Е.В. Шевченко, Е.К. Каляго, В.Р. Булыгин, Е.М. Беляева, Е.Б. Шуваева, А.В. Тимчук), посвящена экспериментальному исследованию особенностей взаимодействия свинцово-висмутового теплоносителя со сталью оболочки твэлов для условий аварии реакторной установки, сопровождающейся существенным повышением температуры теплоносителя. Полученные в ходе работ данные могут быть использованы при анализе и моделировании запроектных аварий на реакторных установках СВТ.

Специалисты ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» участвовали в работе трёх секций конференции из семи представленных:

- № 1 Физическая химия и технология жидкометаллических теплоносителей,
- № 2 Гидродинамика и теплообмен в реакторных установках с жидкометаллическими теплоносителями,
- № 6 Датчики, системы контроля и оборудование для реакторных установок.

В контексте темы секции № 2 группой авторов отдела теплофизических исследований был подготовлен доклад «Моделирование пространственной гидродинамики в активной зоне реакторной установки стенда КМ-1». Авторы: Вакарин А.В., Грановский В.С., Грицай А.С., Румянцев С.Н. В докладе отражена информация о разработанных на основе программного комплекса CFD-класса STAR-CCM+ расчётных моделях пространственной гидродинамики потока в реакторе и ТВС. По результатам моделирования установлены основные факторы,

определяющие неравномерность поля температуры в выходном сечении активной зоны паропроизводящей установки стенда КМ-1. Пространственными расчётами термогидродинамических процессов обоснована возможность моделирования теплогидравлики ТВС в одномерном приближении. Показана возможность использования результатов испытаний на стенде КМ-1 в части показаний терморешетки на выходе активной зоны для валидации контурных кодов.

В рамках работы секции № 6 М.Ю. Иорданский (отделение Комплекс экспериментальных энергетических реакторов) представил доклад «Обеспечение безопасного обращения с ОЯТ стенда КМ-1 ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», авторы — М.Ю. Иорданский и В.Ю. Соколов. В докладе освещен процесс подготовки и реализации комплекса мероприятий по обеспечению безопасного обращения и безопасной транспортировки ОЯТ транспортной ядерной энергетической установки (ЯЭУ) с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ) стенда КМ-1. Операцию по организации безопасной транспортировки ОЯТ данного типа предстояло выполнить впервые. В докладе описаны основные этапы, организационные и технические мероприятия, а также полученный в процессе работы уникальный опыт.

«МЕМБРАНЫ-2022»

С 26 по 30 сентября 2022 года в прошла XV юбилейная всероссийская научная конференция с международным участием «Мембраны-2022». Конференция организована Институтом нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук совместно с Российским химико-технологическим университетом им. Д.И. Менделеева при участии Российского химического общества им. Д.И. Менделеева и Научного совета РАН.

Конференция объединила представителей отечественной мембранной науки и промышленных предприятий, разрабатывающих мембранные технологии, представителей высших образовательных учреждений и коммерческих организаций. Среди участников: ИНХС РАН, РХТУ им. Д.И. Менделеева, МГУ, ИОНХ РАН, КубГУ, СПбГУ, ВГУ, ОИЯИ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, ИВМ СО РАН, КНИТУ, ЮРГПУ(НПИ), АО «РМ Нанотех», ЗАО НТЦ «Владипор», НПК «Грасис», Госкорпорация «Росатом», ООО «Инновационное предприятие «Щекиназот», ООО «НПП Эко-Фильтр», ООО «НПП Биотех-М», ООО «БМТ», ЗАО «Владисарт» и др.

На юбилейную конференцию приехали 176 участников, из них около 70 человек – специалисты в возрасте до 30 лет. В ходе работы были представлены 76 устных, 117 стендовых и 20 заочных докладов, в формате круглого стола прошло обсуждение путей развития мембранной науки на ближайшие три года, а в рамках отдельной молодежной секции состоялся конкурс устных и стендовых докладов молодых ученых.

Организаторы конференции отметили огромный вклад российских ученых в развитие мембранной науки и технологий и особую значимость этого научного направления для технологического развития страны, подчеркнув, что мембраны являются наукоемкой

продукцией межотраслевого применения, без которой невозможно прорывное развитие базовых и высокотехнологичных секторов экономики, развитие науки, а также эффективное решение важных задач социальной сферы и проблем экологии.

От ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» участие в конференции принял старший научный сотрудник отдела ОХТМИ Ю.В. Цапко, который представил два стендовых доклада:

– «Исследование процессов каталитического электромембранного восстановления нитрат-ионов в водных растворах», авторы: Ю.В. Цапко и Л.А. Годон.

– «Исследование процессов электродеионизационной регенерации ионитов», авторы: Ю.В. Цапко и Л.А. Годон.

Академик НАН Белоруссии, директор Института физико-органической химии, А.В. Бильдюкевич и Ю.В. Цапко

«РАДИОХИМИЯ-2022»

В конце сентября в Санкт-Петербурге проходила юбилейная X Российская конференция «Радиохимия-2022» – одна из ключевых информационных площадок в области радиохимии. Организаторы конференции — Госкорпорация «Росатом», Российская академия наук, Межведомственный совет по радиохимии при Президиуме РАН и Госкорпорации «Росатом» и АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина». Конференция «Радиохимия-2022» году приурочена к 100-летнему юбилею Радиевого института им. В.Г. Хлопина.

В работе конференции приняли участие сотрудники отдела ОХТИ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» — начальник группы радиохимических исследований А.А. Цапко, старший научный сотрудник группы химических технологий С. Н. Орлов и два молодых специалиста группы радиохимического контроля и исследований Д.Р. Итыгина и К.Г. Борисова.

На стендовых сессиях специалистами НИТИ представлены доклады:

– «Экспрессная методика контроля радионуклидов йода в теплоносителе ВВЭР», авторы: А.А. Цапко, В.Н. Епимахов, С.Г. Мысик, С.Н. Орлов, Д.С. Подшибякин, Р.В. Фоменков. Секция «Радиоаналитическая химия»;

– «Методические аспекты радиационного мониторинга аэрозолей атмосферного воздуха в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», авторы: К.Г. Борисова, Д.Р. Итыгина, Е.Б., Панкина, М.П. Глухова. Секция «Поведение радионуклидов в окружающей среде»;
– «Дезактивация оборудования ЯЭУ со свинцово-висмутовым теплоносителем», авторы: С.Н. Орлов, А.А. Змитродан, П.Н. Зуев. Секция «Радиохимические технологии».

СЕМИНАР ОТДЕЛА НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Участникам семинара представлен доклад на тему «Нейтронно-физическая расчётная модель малогабаритного газоохлаждаемого реактора с быстрым спектром нейтронов на основе комплекса программ САПФИР_РФ&RC», авторы: В.Г. Артемов, Н.С. Нерсесян. С докладом выступил научный сотрудник группы расчётных исследований отдела ОНФИ Н.С. Нерсесян.

«10 лет СТРОИТЕЛЬНОМУ КОМПЛЕКСУ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»

1–2 декабря 2022 г. состоялась юбилейная V ежегодная конференция представителей строительного комплекса атомной отрасли. В конференции приняли участие представители руководства Госкорпорации «Росатом», Министерства строительства и ЖКХ России, эксперты из отраслевых организаций Росатома и внешние специалисты в области управления капитальными вложениями. От ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» в работе конференции участвовал ведущий инженер УКС Дёмин С.А.

С.А. Дёмин на награждении

Участники конференции представили доклады об эффективности инвестиционного планирования при сооружении объектов использования атомной энергии, отраслевой программе проектирования и подготовке кадров для атомной отрасли в Национальном исследовательском университете «Московский государственный строительный университет». Лучшим работникам и коллективам атомстроя были вручены памятные юбилейные знаки, посвященных 10-летию стройкомлекса.

С 7 по 8 декабря 2022 года на базе филиала РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова» в Нижнем Новгороде прошла отраслевая научно-техническая конференция молодых специалистов Росатома **«Высокие технологии»**. Проведение этой конференции давно стало традицией, объединяющей молодых ученых Госкорпорации «Росатом», в 2022 году она состоялась в шестнадцатый раз. Участники – молодые ученые, а также студенты и аспиранты ВУЗов со всей страны.

Участие в таких мероприятиях — хорошая возможность для молодых ученых заявить о себе, открыть новые возможности для реализации своего потенциала, познакомиться с достижениями коллег. В этом году в работе конференции приняли участие более 100 человек из 35 организаций, на пленарных и секционных заседаниях были заслушаны 78 докладов.

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» на конференции представлял начальник группы функционального проектирования пунктов управления АЭС отдела разработки АСУ ТП В.В. Рючин, который выступил с докладом «Функциональное проектирование пунктов управления как основа для реализации управления технологическими процессами атомной электростанции», авторы: М.С. Григорьев, К.А. Маслова, В.В. Рючин.

В представленной работе описан метод создания иерархии технологических функций как базы для дальнейшего распределения функций между «человеком» и «машиной» и формирования на этой основе человеко-машинного интерфейса для автоматизированных рабочих мест. На данный момент применение функционального проектирования пунктов управления на основе международных стандартов является неотъемлемым требованием при строительстве новых АЭС за рубежом.

11

11. Гражданская оборона и защита от чрезвычайных ситуаций

С.А. Шестопалов

Защита работников и территории ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова» от чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера – это комплекс мероприятий, направленных на предупреждение, снижение риска возникновения, уменьшение ущерба и окончательную ликвидацию последствий ЧС.

Основные направления деятельности по предупреждению ЧС природного и техногенного характера

Обеспечение радиационной и ядерной безопасности

В основе мониторинга и прогнозирования ЧС в ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова» по радиационным параметрам лежит осуществление радиационного контроля, задачей которого является получение информации о радиационной обстановке на стендах прототипах и на территории промплощадки Института (СЗЗ), ЗН и окружающей среде во всех режимах работы стендов, включая аварии, а также, с учётом состояния других радиационных объектов, входящих в ЗН Института.

Непрерывный контроль радиационной обстановки на стендовых установках Института проводится с помощью стационарных систем радиационного контроля типа КМК-1, информационно-управляющей системой многоцелевого назначения ИУС МН-08 и установкой дозиметрического и технологического радиационного контроля, периодический – с помощью комплекта носимых приборов типа МКС-АТ1117М, ДКС – АТ1121, МКС-01Р и др.

Индивидуальная эффективная доза облучения населения от эксплуатации наземных стендов прототипов транспортных ядерных энергетических установок Института не превысила $6{,}60 \cdot 10^{-10}$Зв.

Этот уровень существенно ниже основного предела доз для населения, регламентированного федеральными Нормами радиационной безопасности НРБ-99/2009, который составляет 1 мЗв в год.

Обеспечение промышленной и пожарной безопасности

В целях профилактики ЧС и повышения устойчивости функционирования института проводятся следующие организационные и инженерно-технические мероприятия:

- ТО и ППР установок противопожарной защиты в основных производственных и административных зданиях;
- модернизация электроэнергетической системы, систем телеметрии;
- техническое перевооружение и развитие опытно-экспериментальной базы института;
- поддержание в готовности пожарных водоводов.

Контроль пожарной безопасности обеспечивается применением пожарной сигнализации, а при обнаружении нарушений пожарной безопасности – включением автоматических систем пожаротушения.

Обеспечение экологической безопасности

Объёмная активность аэрозолей в атмосферном воздухе в точке контроля определяется по результатам измерений аэрозольного фильтра, через который производится отбор проб воздуха. Контроль воздействия стендовых установок на окружающую среду при их нормальной эксплуатации и в случае ЧС осуществляется непрерывно с помощью АСКРО ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» и АСКРО филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Ленинградская атомная станция», измеряющей мощность дозы фотонного излучения в 16 точках совместных с НИТИ СЗЗ и ЗН. Информация отображается на экранах мониторов и распечатывается на бумажных носителях в виде протокола.

Фактические суммарные выбросы вредных химических веществ в атмосферу были в три раза ниже установленного норматива. Фактические выбросы химических веществ 1 класса опасности – отсутствовали. Ни один из 36 показателей выбросов загрязняющих веществ не превысил годовых нормативов ПДВ. Всё пылегазоочистное оборудование находилось в технически исправном состоянии и улавливало 88,8 % выбрасываемых веществ. Неэффективное оборудование отсутствовало.

Случаев превышения выбросов радионуклидов в окружающую среду за отчётный период не было.

В соответствии с планами и графиками на 2022 год проведены все запланированные тренировки по локализации и ликвидации аварий (аварийных ситуаций) на опасных производственных объектах при срабатывании системы аварийной сигнализации (САС), проверке системы оповещения, практические противопожарные тренировки.

Координационный орган управления

Координационным органом управления объектового звена РСЧС института функциональной подсистемы ОСЧС Госкорпорации «Росатом» является Комиссия по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности института (КЧСиОПБ).

Мероприятия по совершенствованию практических навыков членов КЧСиОПБ института, командного состава формирований ГО, руководителей структурных подразделений в управлении действиями сил в решении задач по защите персонала объекта от опасностей,

возникающих в мирное и военное время, отработка действий по сигналам оповещения были отработаны в хоте практических тренировок:

Учения и тренировки, проведённые в 2022 году

В 2022 году в Институте проведено: 1 КШУ (3 этапа), 1 комплексное учение и 2 объектовых тренировки.

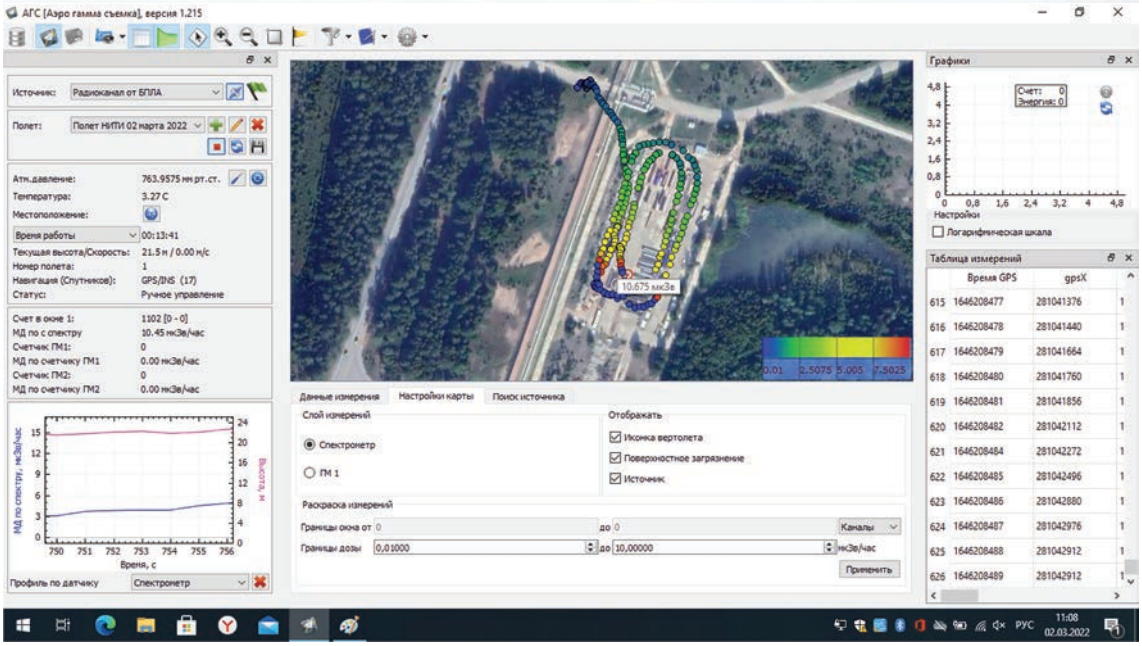
01-02.03.2022 года в институте проведены первый и второй этапы совместного командно-штабного учения (КШУ) на тему: «Действия руководства, персонала института и взаимодействующих органов при нападении на охраняемый объект и ликвидации последствий радиационной аварии и пожара».

Действия подразделений физической защиты

АСФ АО «АТЦ Росатома» в работе

К участию во втором этапе КШУ была привлечена служба РХБЗ в/ч 3705 ВНГ РФ. В соответствии с требованиями НД ВНГ РФ, проводились радиационная и химическая разведка. В рамках второго этапа учения была отработана вводная: «Организация контроля за радиационной обстановкой с использованием технических средств АСФ АО «АТЦ Росатома» (беспилотный комплекс аэро-гамма съёмки на базе промышленного квадрокоптера DJI Matrice 210 RTK)». В качестве полезной нагрузки квадрокоптер несёт курсовую камеру с управлением по вертикали и автономный радиометр-спектрометр «Аспект УДКГ-А02».

Беспилотный комплекс аэро-гамма съёмки на базе промышленного квадрокоптера DJI Matrice 210 RTK



Скриншот результатов аэро-гамма съёмки в ходе отработки вводной: «Организация контроля за РО с использованием технических средств АСФ АО «АТЦ Росатома»

Заключительная вводная второго этапа: «Проведение санитарной обработки л/с и техники в подвижном пункте АО «АТЦ Росатома». На территории КМС был развёрнут подвижный пункт санитарной обработки. Практически проведена специальная обработка техники и санитарная обработка персонала, выводимого из зоны РЗ – силами группы ДОРО АО «АТЦ Росатома».

14.04.2022 с 08.05 до 09.30 проведена тренировка на тему: «Действия «Противопожарной службы ГО» института по ликвидации ландшафтного (природного) пожара».

18.05.2022 с 09.56 до 10.03 проведён третий этап КШУ-2022, тема: «Отработка действий персонала института и л/с СПСЧ № 3 при возникновении пожара и эвакуации персонала из здания с массовым пребыванием людей».

Из здания общежития эвакуированы 43 человека в течении 6 мин. 37 сек.

Дезактивация членов НФГО «САБ»

Дезактивация РТК «Тайфун» АСФ АО «АТЦ Росатома»

30.09.2022 проведено комплексное учение на тему: «Действия «Противопожарной службы» ГО института по эвакуации людей при возникновении пожара из здания и ликвидация пожара». Тренировка проходила в здании общежития, расположенного по адресу: г. Сосновый Бор, ул. Красных Фортов дом 11/2.

На обеспечение постоянной готовности сил и средств гражданской обороны, оснащение и поддержание боеготовности НАСФ «САБ» и НФГО в отчётном году затрачено средств на общую сумму 14841,89 тыс. рублей.

Подготовка руководящего состава, специалистов органов управления СЧСО, работников института в 2022 году организована в соответствии с требованиями федеральных нормативных документов, организационно-методических указаний Госкорпорации «Росатом».

В институте создано 94 групп подготовки персонала Института, сформировано 22 группы подготовки личного состава НФГО под руководством командиров НФГО.

В 2022 года в институте выполнялся весь комплекс работ по поддержанию ЗС ГО в состоянии постоянной готовности к использованию по предназначению. Работы выполнялись в соответствии с «Годовым планом планово-предупредительных ремонтов и обслуживания технических средств убежищ.

Уровень готовности объектовой системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, подготовки членов КЧСиОПБ ФГУП «НИТИ имени А.П. Александрова», готовность личного состава НАСФ «САБ» и НФГО, состояние систем управления, связи и оповещения, уровень радиационной и химической защиты работников Института, а также проведенный комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий в отчётном 2022 году, позволил решать задачи направленные на предупреждение чрезвычайных ситуаций и обеспечение готовности к ликвидации последствий в случае их возникновения.

Действия «Противопожарной службы» ГО института по эвакуации людей при возникновении пожара из здания общежития и ликвидация пожара

12

12. Работа по подготовке и развитию персонала под стратегические задачи института

А.В. Иванова

Развитие и обучение персонала направлено на формирование и поддержание необходимого уровня квалификации с учётом требований и перспектив развития института, повышение эффективности выполняемой деятельности и сокращение потерь в процессе профессиональной деятельности.

В ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» постоянно проводятся образовательные мероприятия, направленные на повышение компетенций работников: повышение квалификации персонала, профессиональная переподготовка, обучение в рамках отраслевых программ развития, обучение по промышленной безопасности. Обучение персонала реализуется как силами самого института (внутренние тренеры), так и с помощью привлечения внешних провайдеров.

В 2022 году обучение прошли 597 сотрудников института, из них 256 руководителей, 215 специалиста и 126 рабочих. Общая сумма расходов на обучение и развитие персонала составила 13 184 000 рублей, при этом затраты на обучение в связи с требованиями нормативно-правовых документов составили 5 320 900 рублей. В проведении обучения были задействованы учебные организации такие, как АНО «Корпоративная Академия Росатома», АНО ДПО «Техническая академия Росатома», НОУ ДПО «УЦПР», ФГУП «Крыловский государственный научный центр», ЧОУ ДПО «Институт промышленной безопасности, охраны труда и социального партнерства».

В целях подготовки квалифицированных кадров институт сотрудничает с ВУЗами Санкт-Петербурга. В 2022 году 14 студентов заключили договора на условиях целевого обучения по программам высшего профессионального образования. На целевую подготовку НИТИ выплатил 159 000 рублей. Кроме того, 17 сотрудников института повышают уровень образования по программам бакалавриата и магистратуры.

Большое внимание институт уделяет развитию необходимых компетенций персонала,

включенного в кадровый резерв. Формирование кадрового резерва является частью процесса «Планирование карьеры и преемственности» и осуществляется ежегодно. Результатом процесса является утвержденный план преемственности. Планирование преемственности направлено на минимизацию кадровых рисков.

Подготовка резервистов старшего, среднего и начального звена управления к карьерному развитию осуществляется в соответствии с отраслевыми программами развития управленческого кадрового резерва «Достояние Росатома», «Достояние Росатома. Базовый уровень», «Капитал Росатома», «Таланты Росатома», которые направлены на повышение уровня корпоративных и управленческих компетенций участников резерва. В 2022 году в управленческий кадровый резерв Госкорпорации «Росатом» зачислены пять сотрудников института.

Ежегодно сотрудники института проходят оценочные процедуры на соответствие занимаемой должности и определение профессионального статуса работника. В 2022 году прошли оценку 633 сотрудника. 120 руководителей имеют карты КПЭ и прошли процедуру оценки эффективности деятельности «Рекорд».

В целях подбора и адаптации персонала проведена работа по организации производственной и преддипломной практики учащимся высших и средних профессиональных образовательных организаций. В 2022 году 52 студента прошли практику в институте. К работе по наставничеству привлечено – 43 сотрудника.

Согласно Плану по профориентационной работе, при взаимодействии с центром развития творчества, ВУЗами и СУЗами, сотрудники НИТИ ежегодно проводят информационно-просветительскую работу среди школьников. На протяжении учебного года проводятся экскурсии и лекции для учащихся школ города.

«Человек года Росатома»

Для участия в ежегодной отраслевой программе признания «Человек года Росатома» по итогам 2021 года от института поступило три заявки в следующих номинациях:

1. Дивизиональная номинация «Научный сотрудник» – Орлов С.Н. – старший научный сотрудник ОХТИ.
2. Общекорпоративная номинация «Независимый контроль и аудит» Миронова Е.С. – специалист 1 категории СВКиА. Заняла 1 место во II туре (Дивизиональный этап), прошла на III тур (Отраслевой этап).
3. Специальная номинация «Команда года» – «Влогеры НИТИ»: Тюшин К.А. – начальник группы ОИТ и Шарин А.А. – инженер 2 категории ОРБ.

AtomSkills-2022

В августе 2022 года в Екатеринбурге завершился VII отраслевой чемпионат профессионального мастерства AtomSkills-2022 который объединяет все проводимые в отрасли конкурсы профессионального мастерства в единую систему подготовки и оценки профессионализма специалистов ключевых для Госкорпорации «Росатом» профессий.

В дивизиональном этапе чемпионата приняли участие следующие сотрудники института:

- в компетенции «Специалист по сметному делу» сотрудники УКС (Пименова А.Г. (сертификат участника) и Щипалкина М.Н. (сертификат эксперта));
- в компетенции «Управление качеством» сотрудники ОУКПСР (Журба А.В., Ступак И.А. (сертификат участника) и Щипалкин О.Н. (сертификат эксперта));

– в дивизиональном и отраслевом чемпионатах профессионального мастерства в компетенции «Сетевое и системное администрирование» приняли участие сотрудники ОИТ (Стеценко К.В., Викторов М.Е. (сертификат участника) и Бекиш Д.А. (сертификат эксперта).

Участники чемпионата AtomSkills-2022

20 декабря в Ленинградской областной торгово-промышленной палате состоялась торжественная церемония награждения победителей конкурса «Бизнес, развивающий регион-2022»

Конкурс «Бизнес, развивающий регион» проводится совместно с Правительством Ленинградской области, его главной целью является поощрение и продвижение наиболее успешных представителей бизнеса Ленинградской области на региональном и федеральном уровнях.

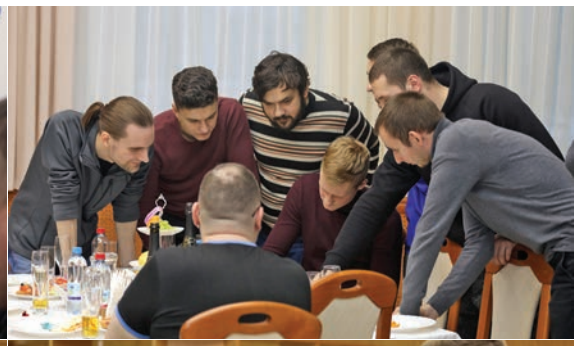
Победителям вручены 18 наград по восьми основным номинациям и четыре награды в специальных номинациях. Среди награжденных – предприятия и организации, представители малого бизнеса из Тосненского, Гатчинского, Всеволожского, Подпорожского, Кингисеппского, Выборгского районов, МО Сосновоборский городской округ.

В специальной номинации «За существенный вклад в разработку и развитие высокотехнологичной продукции» победа присуждена ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»! Награду получил заместитель генерального директора по гражданской продукции А.Л. Дмитриев.

Старший вице-президент Союза «ЛОТПП» И.Ю. Панченко, А.Л. Дмитриев
и президент Союза «ЛОТПП» Ю.М. Васильев на вручении награды

День первогодок -2022

Традиционно в Научно-исследовательском технологическом институте имени А.П. Александрова чествуют молодых специалистов, пришедших на работу в институт в течение года. Организация и проведение мероприятия осуществляются силами активных молодых коллег, членов Молодёжного совета НИТИ при первичной профсоюзной организации института. Юбилейный для института 2022 год стал особенно насыщенным: проведено много праздничных мероприятий, турниров, игр, соревнований.



Спортивно-массовые мероприятия

ВСЕРОССИЙСКИЙ МАРАФОН – «ЗаБег.РФ»

В мае 2022 года прошел крупнейший в стране ежегодный спортивный праздник – VI полумарафон «ЗаБег.РФ». Синхронные старты эстафеты, в которой приняли участие около 120 тысяч человек, состоялись в 85 городах России, в том числе и в столице Ленинградской области – Гатчине. На дистанции 21,1 км с результатом 1:12:07,0 победителем стал сотрудник НИТИ, начальник участка Управления энергоснабжения Созонов Владимир.

«АТОМНЫЙ ЗАБЕГ»

В сентябре в Сосновом Бору состоялся «АТОМНЫЙ ЗАБЕГ» – праздник спорта и здорового образа жизни, принесший любителям активного отдыха большой заряд энергии и хорошего настроения. Участвовали спортсмены Соснового Бора, Ленинградской области, Санкт-Петербурга, Архангельской, Вологодской, Калининградской, Костромской, Смоленской областей, Чувашской республики и Камчатского края.

Активное участие в соревновании приняли сотрудники НИТИ. Дважды выходил на пьедестал почета Владимир Созонов, который стал победителем среди мужчин в категории М35 – 1 место и занял 2 место в абсолютном зачете на дистанции 10 км. Впервые в соревнования была включена дисциплина СЕВЕРНАЯ ХОДЬБА. Дистанция 3 км. В десятку лучших вошла Наталья Федорова, инженер ОРБ.

ТУРНИР ПО МИНИ-ФУТБОЛУ

В канун Рождествафутбольный клуб «НИТИ» принял участие в однодневном турнире по мини-футболу в Санкт-Петербурге. Команда «НИТИ» показала отличный результат.

СПОРТ-СПОРТ

60 ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "НИТИ им. А.П. Александрова"

Турслёт НИТИ

03 - 05 июня 2022 года

Программа турслёта 2022

03.06.2022 год
15.00 - 19.00 – заезд команд
16.00 - 20.00 – устройство бивуаков
19.00 – совещание капитанов, жеребьёвка
20.00 – ужин
21.30 – построение, открытие слёта, начало конкурса «Приветствие команд»
24.00 - 2.00 – дискотека

04.06.2022 год
8.00 – подъём
9.00 – завтрак
9.30 – начало соревнований по волейболу
10.00 – начало соревнований по мини-футболу
11.00 – начало конкурсов для детей
13.00 - 14.00 – обед
15.00 - 17.00 соревнования по стрельбе и дартсу (после окончания соревнований по футболу)
15.00 – начало соревнований по туристическим
18.00 – начало соревнований по метанию бревна (после окончания соревнований по туристическим)
20.00 – ужин
21.30 – начало конкурса художественной самодеятельности
24.00 - 3.00 – дискотека

05.06.2022 год
09.00 – подъём
09.30 – завтрак
10.00 – начало соревнований по туристическим
12.00 – начало соревнований по перетягиванию каната
14.00 – обед
15.00 – построение, подведение итогов, награждение победителей, закрытие слёта
16.30 – уборка территорий, сдача лагерей
17.00 – отъезд участников слёта

Участники слёта:

Команда **«Динамит»** - капитан Стеценко Константин
Команда **«Искра»** - капитан Поляков Дмитрий
Команда **«Пума»** - капитан Кряквин Денис
Команда **«Стройсмех»** - капитан Лелявин Николай
Команда **«ИКАР»** - капитан Рыжова Наталья
Команда **«НИбухТИ»** - капитан Ганношина Александра

Расписание автобусов (маршрут № 1):

03.06.2022 года - от АТП в 19-00 - обратно в 00-00.
04.06.2022 года - от АТП в 08-00 - обратно в 00-00.
05.06.2022 года - от АТП в 09-00 - обратно в 17-00.

Комендант турслёта

Попов Андрей Серафимович (тел. 47-38, 6-08-16)

Субботник - 28.05.2022 года

Место проведения:

Елизаветино (59.777126, 29.107569)
*координаты места, рекомендуется использовать Яндекс навигатор.

ДЕНЬ ЗДОРОВЬЯ

23 апреля, в рамках Дня здоровья, сотрудники НИТИ открыли велосезон 2022 года. Заезд проходил в свободном формате – без учёта времени. Мероприятие проводится в поддержку развития велосипедной культуры и вовлечения в активный образ жизни.

#МЫВМЕСТЕ – 2022

В Москве в прошёл Международный форум гражданского участия #МЫВМЕСТЕ – 2022, главной целью которого является формирование сообщества неравнодушных людей, лидеров социальных изменений, готовых действовать для улучшения качества жизни, объединил более десяти тысяч добровольцев из 45 стран и 89 регионов России.

Организаторы форума – Федеральное агентство по делам молодёжи в рамках трека «Росмолодёжь. Добро» и Ассоциация волонтёрских центров. Генеральный партнёр – Госкорпорация «Росатом».

В 2022 году на форуме работали Константин Тюшин и Дмитрий Лаптев, сотрудники отдела информационных технологий НИТИ и непосредственные участники информационного проекта. Они побывали на встрече генерального директора Госкорпорации «Росатом» А.Е. Лихачёва с участниками конкурса в области КСО и волонтёрства им. А.П. Александрова и на всех площадках форума #МЫВМЕСТЕ – 2022.

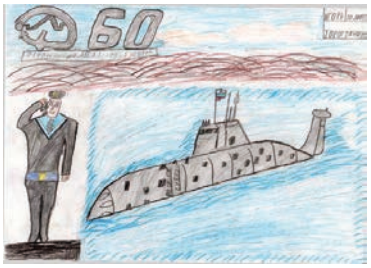
«КВЕСТ – ГОРОДСКИЕ СЕКРЕТЫ»

Первичная профсоюзная организация и Молодежный совет НИТИ провели спортивно-интеллектуальную игру-приключение: «Квест – Городские секреты».

Квест посвящён 60-летию ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

КОНКУРС ДЕТСКОГО РИСУНКА

Профсоюзная организация ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» совместно с руководством института провела конкурс детского рисунка в честь 60-летнего юбилея со дня основания института. Тема конкурса: «Страна НИТИ». Цель конкурса – популяризация атомной отрасли среди подрастающего поколения



Поощрения, награды

Сотрудники ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», получившие награды в 2022.

Нагрудный знак «Академик И.В. Курчатов» 3 степени

Демидов Александр Владимирович

Лялюев Дмитрий Владимирович

Нагрудный знак «За вклад в развитие атомной отрасли» 1 степени

Щипалкина Марина Николаевна

Нагрудный знак «За вклад в развитие атомной отрасли» 2 степени

Иванов Олег Александрович
Лытко Вадим Михайлович
Блаженко Валерий Михайлович
Виляйкин Леонид Александрович
Демин Сергей Александрович
Ждамиров Сергей Владимирович
Гудина Елена Витальевна

Нагрудный знак «За заслуги перед атомной отраслью» 2 степени

Кирпиков Денис Александрович

Нагрудный знак «За заслуги перед атомной отраслью» 3 степени

Бруснигин Денис Анатольевич

Ельшин Михаил Александрович

Кузнецов Алексей Николаевич

Ловчая Диана Николаевна

Самусь Сергей Валерьевич

Тимченко Игорь Валентинович

Нагрудный знак «За обеспечение безопасности в атомной отрасли» 2 степени

Косульников Олег Игоревич

Почетную грамоту Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Бобкина Светлана Петровна
Грицай Антон Сергеевич
Додонова Татьяна Леонидовна
Дудников Герман Геннадьевич
Егоров Дмитрий Александрович
Жестков Алексей Николаевич
Заритовская Елена Геннадиевна

Зверев Александр Анатольевич
Кислый Владимир Трифонович
Крутилина Людмила Ивановна
Кузнецов Сергей Николаевич
Кулев Евгений Александрович
Лазовский Алексей Петрович
Ларионов Юрий Иванович
Максименко Дмитрий Николаевич
Малохатка Валерий Владимирович
Нагернюк Игорь Иванович
Сергеев Сергей Петрович
Сергеева Ирина Николаевна
Тепляков Дмитрий Борисович
Шустов Владимир Павлович
Юрина Людмила Михайловна

Благодарность генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Абросимова Елена Евгеньевна
Альмяшев Вячеслав Исхакович
Андреева Светлана Александровна
Батурин Виктор Иванович
Буланов Владимир Николаевич
Василенко Валерий Владимирович
Воронцов Алексей Николаевич
Гартунг Ирина Викторовна
Гурьев Константин Викторович
Данилов Николай Викторович
Журавлев Алексей Александрович
Иванов Олег Борисович
Карпов Михаил Геннадьевич
Колодкин Вячеслав Владимирович
Корнеев Константин Борисович
Ненашев Игорь Борисович
Нечаев Александр Владимирович
Петрова Елена Владимировна
Попов Виктор Николаевич
Ризо Вячеслав Юрьевич
Сергеев Андрей Викторович
Сладкина Ольга Николаевна
Сокольников Александр Александрович
Стельмашук Дмитрий Андреевич
Чекризов Максим Викторович
Шиманаева Любовь Михайловна

Благодарность Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»

Васильев Олег Александрович
Васильева Елена Владимировна
Жималин Дмитрий Викторович
Иванов Дмитрий Васильевич
Кашин Сергей Борисович
Мехоношина Виктория Сергеевна
Пупышев Юрий Николаевич
Топорков Артем Олегович

Благодарственное письмо генерального директора Государственной корпорации по атомной энергии Росатом

Костин Михаил Михайлович

Знак отличия в труде «Ветеран НИТИ им. А.П. Александрова»

Балалаев Дмитрий Юрьевич
Бекиш Светлана Инокентьевна
Белова Раиса Петровна
Бобров Андрей Викторович
Бурлакова Лидия Ивановна
Быковский Виктор Иванович
Бырков Игорь Александрович
Гогулин Андрей Эмильевич
Горбунова Наталья Ивановна
Гукова Тамара Петровна
Денисова Людмила Леонидовна
Замуриёв Николай Иванович
Кириченко Елена Валерьевна
Косяков Юрий Анатольевич
Кундрюков Андрей Георгиевич
Лицагевич Лариса Леонидовна
Николаев Владимир Николаевич
Никулина Нина Альбиновна
Новиков Игорь Иванович
Окунцов Сергей Вениаминович
Пескова Елена Николаевна
Постников Константин Николаевич
Раздобарова Раиса Федоровна
Раскатова Татьяна Петровна
Рослов Михаил Анатольевич
Сапунков Григорий Моисеевич
Сдобников Дмитрий Викторович
Семикова Людмила Валерьевна
Солодкая Ирина Евгеньевна
Трифонов Олег Геннадьевич

Ушатинский Владимир Николаевич
Чепелев Петр Васильевич
Черноморова Наталья Валентиновна
Черпухин Константин Владимирович
Шаньгин Дмитрий Геннадьевич
Шинкаренко Ирина Петровна
Шкваровский Сергей Борисович

Получили статус «Заслуженный пенсионер отраслевого значения»

Апостол Наталья Михайловна
Блинов Владимир Иванович
Горошко Николай Иванович
Девяткин Виталий Владимирович
Дзигаленко Надежда Алексеевна
Иванов Александр Сергеевич
Костюк Владимир Васильевич
Малоок Леонид Николаевич
Масягина Елена Алексеевна
Морозов Юрий Александрович
Нестеренко Татьяна Олеговна
Орленков Игорь Сергеевич
Павлова Зинаида Леонидовна
Сидорчук Раиса Филипповна
Скрипачев Николай Владимирович
Тихомиров Алексей Александрович
Тихонова Ольга Юрьевна
Федотов Евгений Александрович
Фролов Александр Михайлович
Хабенский Владимир Бенцианович
Чечиков Иван Иванович

Статус «Почетный пенсионер предприятия атомной отрасли»

Гусарова Нина Михайловна
Гусев Михаил Юльевич
Дмитриев Юрий Иванович
Иванова Любовь Васильевна
Карпов Виктор Алексеевич
Князев Юрий Федорович
Кобаров Владимир Владимирович
Колесников Владимир Васильевич
Мальцева Злата Николаевна
Румянцева Ирина Витальевна
Сосунов Андрей Викторович

Почетную грамоту губернатора Ленинградской области

Иванов Александр Александрович
Ельшин Александр Всеволодович
Мигров Юрий Андреевич

Благодарность губернатора Ленинградской области

Беспалова Дарья Алексеевна
Брайчева Наталья Владимировна
Селиванова Римма Таировна
Шарин Александр Александрович
Шишкин Семен Николаевич

Знак отличия «За содействие в развитии города Сосновый Бор»

Василенко Вячеслав Андреевич

Почетную грамота главы муниципального образования Сосновоборский городской округ

Пискарев Александр Васильевич

Грамоту Главы муниципального образования Сосновоборский городской округ

Кастерин Дмитрий Сергеевич
Келасьев Александр Геннадьевич
Кириченко Елена Валерьевна
Корчагина Елена Федоровна
Платонова Кристина Сергеевна
Потапкин Максим Олегович
Садырова Ольга Андреевна
Стеценко Константин Владимирович
Шевченко Евгений Вячеславович
Шило Елена Васильевна

Благодарность Главы муниципального образования Сосновоборский городской округ

Алексенко Кирилл Андреевич
Аникин Алексей Павлович
Василенко Ольга Александровна
Волкова Надежда Олеговна
Духнич Надежда Викторовна
Зуева Елена Сергеевна
Клепинина Юлия Валерьевна
Кольцов Игорь Евгеньевич
Корсун Сергей Андреевич
Куликова Елена Викторовна
Кухтик Василий Степанович
Латышева Марина Валериевна
Нестеров Сергей Вячеславович
Новиков Игорь Иванович
Хуополайнен Юлия Леонидовна
Чертков Александр Александрович

Почетную грамоту совета депутатов Сосновоборского городского округа

Борисова Ольга Рудольфовна

Пислегин Сергей Евгеньевич

Грамоту председателя совета депутатов Сосновоборского городского округа

Баранецкая Юлия Валерьевна
Малахов Андрей Владимирович
Митекин Иван Викторович
Новикова Любовь Васильевна
Радчук Юрий Николаевич

Благодарность председателя совета депутатов Сосновоборского городского округа

Антонова Наталья Вячеславовна
Богданова Ирина Николаевна
Журба Алексей Викторович
Зорина Марина Владимировна
Костенко Андрей Демьянович
Нагишева Лариса Викторовна
Поплавский Ярослав Викторович
Сороко Марина Константиновна
Ульянов Александр Михайлович

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЗ – аварийная защита
а.з. – активная зона
АПЛ – атомная подводная лодка
АРМ – автоматизированное рабочее место
АС – аварийная сигнализация
АСКРО – автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АСРК – автоматизированная система радиационного контроля
АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом
АЭС – атомная электростанция
БД – блок детектирования
ВВЧ – вода высокой чистоты
ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор
ВРК – внутриреакторный контроль
ВХР – водно-химический режим
ЖМТ – жидкометаллический теплоноситель
ЖРО – жидкие радиоактивные отходы
ЗО – защитная оболочка
ИВК – измерительно-вычислительный комплекс
ИК – измерительный канал, испытательный комплекс
ИМ – исполнительный механизм
КД – конструкторская документация
КГО – контроль герметичности оболочек твэлов
КСУ ТС – комплексная система управления техническими средствами
МК – мобильный комплекс
ММ – математическая модель
НФИ – нейтронно-физические измерения
НФХ – нейтронно-физические характеристики
ОТВС – облученная (отработавшая) тепловыделяющая сборка

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо
ПВ – питательная вода
ПГ – парогенератор
ПИН – пусковой источник нейтронов
ПК – программный комплекс
ПМТ – полномасштабный тренажёр
ПО – программное обеспечение
ППУ – паропроизводящая установка
ПС – предупредительная сигнализация
ПТК – программно-технический комплекс
ПУ – пульт управления
РАО – радиоактивные отходы
РБ – радиационная безопасность
РК – радиационный контроль
РМК – расчётно-моделирующий комплекс
РТК – радиационно-технологический контроль
РУ – реакторная установка
САР – система аварийного расхолаживания
СВП – стержень выгорающего поглотителя
СИ – средство измерения
СКУ – система контроля и управления
СПОТ – система пассивного отвода тепла
СРК – система радиационного контроля
СУ – система управления
СУТС – система управления техническими средствами
СУЗ – система управления и защиты
ТВС – тепловыделяющая сборка
твэг – тепловыделяющий элемент с примесью оксида гадолиния
твэл – тепловыделяющий элемент
ТРО – твёрдые радиоактивные отходы
ТК – транспортный контейнер
ТТК – теплотехнический контроль
ТФИ – теплофизические исследования
УСД – универсальный стенд дефектации
УЛР – устройство локализации расплава
ФТО – функциональный тренажёр обучения
ХОЯТ – хранилище отработавшего ядерного топлива
ЦНПК – циркуляционный насос первого контура
ЦНР – циркуляционный насос расхолаживания
ЦПУ – центральный пульт управления
ЭДО – электронный документооборот
ЭТВС – экспериментальная тепловыделяющая сборка
ЯБ – ядерная безопасность
ЯЭУ – ядерная энергетическая установка

Адрес: Копорское шоссе, д.72, г. Сосновый Бор, 188540
Тел.: +7 (81369) 226 67
Факс: +7 (81369) 236 72
E-mail: foton@niti.ru
www.niti.ru