

ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова»

ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

№ 2 (24) 2021

Сосновый Бор

ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Периодический рецензируемый научно-технический сборник

№ 2 (24) 2021

Издается с 2015 года

Сборник распространяется на территории Российской Федерации

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор — **В.А. Василенко**, профессор, доктор технических наук, генеральный директор ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

В.И. Альмяшев, кандидат химических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

А.Я. Благовещенский, доктор технических наук, профессор ВУНЦ-ВМФ «Военно-морская академия», Военно-морской политехнический институт, Санкт-Петербург.

В.И. Бурсук, доктор технических наук, директор центра сервиса АО «Концерн «НПО «Аврора», Санкт-Петербург.

В.С. Гурский, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

В. В. Гусаров, чл.-корр. РАН, доктор химических наук, Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург.

А.Л. Дмитриев, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Ю.Э. Зевацкий, доктор химических наук, АО «Новбытхим», Санкт-Петербург.

А.В. Ельшин, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

С.С. Ермаков, доктор химических наук, Санкт-Петербургский государственный университет.

А.А. Ефимов, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Ю.В. Крюков, (ответственный секретарь), кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Ю.А. Мигров, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Л.Н. Москвин, доктор химических наук, Санкт-Петербургский государственный университет.

Е.Б. Панкина, кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

С.А. Петров, доктор технических наук, НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ, Санкт-Петербург.

О.Ю. Пыхтеев, кандидат химических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

О. В. Родников, доктор химических наук, Санкт-Петербургский государственный университет.

О.Б. Самойлов, доктор технических наук, АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород.

В. Л. Столярова, чл.-корр. РАН, доктор химических наук, Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург.

А. А. Сулацкий, (ответственный редактор), кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».

В.Б. Хабенский, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.

Учредитель: ФЕДЕРАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова».

Издание зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций
Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-58865 от 28.07.14.

Адрес редакции: 188540 Россия, Ленинградская область, г. Сосновый Бор, Копорское шоссе 72,
ФЯО ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Телефон: 8 (813-69) 6-01-43 — отв. секретарь редколлегии.

Факс: 8 (813-69) 2-36-72. E-mail: foton@niti.ru; Интернет сайт: www.niti.ru.

Подписной индекс 43300 в объединенном каталоге «Пресса России».

Научно-технический сборник включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.14.03 — Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации (технические науки).

При перепечатке ссылка на периодический рецензируемый научно-технический сборник
«Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок» обязательна.

Содержание

Выпуск № 2 (24) 2021

Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ
В.Г. Артемов, Л.М. Артемова, А.С. Иванов, А.С. Карпов, В.Г. Коротаев, А.Н. Кузнецов

Развитие алгоритмов комплекса программ САПФИР_95&RC для обоснования нейтронно-физических характеристик реакторов различных типов 9

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

Разработка, верификация и практическое использование расчётного кода КОРСАР/ЖМТ 25

Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования

А.В. Жижин, А.А. Змитродан, С.Н. Орлов

Влияние кинетики разложения гидразина на массоперенос продуктов коррозии в первом контуре транспортной ЯЭУ 35

Исследование процессов при авариях на объектах атомной энергетики

О.В. Прохоркина, В.Н. Епимахов, А.И. Горшков, А.А. Амосов, В.А. Прокопенко, М.М. Зайцева

Исследование выделения водорода при нагреве образцов сталей с противокоррозионными защитными покрытиями в условиях, приближенных к аварийным 46

В.Б. Гайко, Ю.В. Крюков, Т.В. Ситникова

Анализ возможности автоматизированной оценки величины течи парогенераторов на АЭС с ВВЭР по данным АСРК 59

Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду

А.В. Курьиндин, А.С. Шаповалов, М.Ю. Орлов, А.В. Коришунков

О нормативном регулировании систем вентиляции, важных для безопасности атомных станций 81

Развитие алгоритмов комплекса программ САПФИР_95&RC для обоснования нейтронно-физических характеристик реакторов различных типов

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

ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

Аннотация

Представлены направления модернизации программ САПФИР_95 и RC базовой версии комплекса программ САПФИР_95&RC, предназначенного для расчета нейтронно-физических характеристик реакторов различных типов как транспортного назначения, так и ВВЭР АЭС.

Разработан модуль расчета выгорания с расширенным набором изотопов для программы расчета нейтронно-физических характеристик ячеек реактора САПФИР_95. Для новой версии программы, получившей название САПФИР_РФ, подготовлена многогрупповая библиотека нейтронных констант на основе отечественного банка оцененных ядерных данных РОСФОНД.

В программе RC, предназначенной для расчета нейтронно-физических характеристик реактора, в стационарном и нестационарном варианте отрабатываются алгоритмы решения многогруппового (до 26 групп) уравнения диффузии нейтронов.

В комплексе программ САПФИР_95&RC реализован потвэльный трехмерный метод расчета реактора с использованием распределения выгорания в твэлах, полученного методом восстановления на основе макрорасчета плотности потока нейтронов в активной зоне и микрораспределений в ТВС. Потвэльный расчет отрабатывается для решения как стационарных, так и нестационарных задач. При моделировании нестационарных процессов задача решается в комплексе с теплогидравлическим расчетным кодом КОРСАР. Подготовлен пакет сервисных программ, расширивших возможности комплекса в плане автоматизации подготовки исходных данных и обработки результатов расчетов.

Ключевые слова: ядерный реактор, расчёт нейтронно-физических характеристик, программа для ЭВМ

Разработка, верификация и практическое использование расчётного кода КОРСАР/ЖМТ

*С.Н. Волкова, Д.В. Бенедиктов, А.В. Вакарин, И.Г. Данилов,
А.В. Мицкевич, А.О. Попов, А.В. Ярушина*

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

Аннотация

Представлена разработка специализированной версии расчетного кода КОРСАР/ЖМТ для обоснования безопасности проектируемых ядерных энергетических установок с жидкометаллическим теплоносителем.

Представлена методика расчета теплогидравлических процессов в циркуляционных контурах и системы замыкающих соотношений. Приведены примеры локальной верификации и валидации расчетного кода по результатам испытаний ядерной энергетической установки на стенде-прототипе КМ-1 в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова».

Ключевые слова: ядерные энергетические установки с жидкометаллическим теплоносителем, расчётный код КОРСАР/ЖМТ, расчетная модель, верификация, валидация.

Влияние кинетики разложения гидразина на массоперенос продуктов коррозии в первом контуре транспортной ЯЭУ

А.В. Жижин, А.А. Змитродан, С.Н. Орлов

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской обл., Россия

Аннотация

В статье рассмотрены процессы разложения гидразина в теплоносителе первого контура транспортной ЯЭУ на остановленном реакторе. Кинетика реакции разложения и состав образующихся продуктов зависят от соотношения вкладов радиолитического и термолитического механизмов. На основе экспериментальных данных определена скорость радиолитического разложения гидразина, которая находится в диапазоне 10-20 мг/(л·ч) и зависит от энерговыработки активной зоны. Вклад термолитического разложения может достигать 25% и более при температуре теплоносителя выше 200 °С независимо от энерговыработки активной зоны.

Экспериментально установлено влияние дозирования гидразина на увеличение выхода продуктов коррозии в теплоноситель первого контура транспортной ЯЭУ, что способствует усилению массопереноса продуктов коррозии и повышению эффективности удаления их из контура на штатных ионообменных фильтрах.

Ключевые слова: теплоноситель первого контура, гидразин, термолитиз, радиолитиз, аммиак, водород, азот, кинетика разложения гидразина.

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

*О.В. Прохоркина¹, В.Н. Епимахов¹, А.И. Горшков¹, А.А. Амосов¹,
В.А. Прокopenко², М.М. Зайцева³*

¹ ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова, г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

² АО «СПЕЦХИММОНТАЖ», г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

³ НПП ВМП «Нева», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Представлена методика исследования выхода водорода при нагреве образцов сталей с противокоррозионными защитными покрытиями. Приведены результаты исследования выделения водорода при различных условиях нагрева из образцов сталей с различными покрытиями, предназначенных для использования в защитных оболочках реактора ВВЭР-1200, а именно: с металлизацией алюминием и покрытиями ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285; с композицией ЦИНЭП и покрытиями ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285.

Исходя из результатов исследований указанных образцов следует, что применение противокоррозионных покрытий на основе эмалей ВИНИКОР ЭП-1155Д и ВИНИКОР ЭП-5285 с предварительной обработкой поверхностей термической металлизацией алюминием или нанесением цинковой композиции ЦИНЭП не соответствует требованиям федеральных норм и правил в области использования атомной энергии из-за выделения водорода при их нагревании в аварийных ситуациях.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что основной причиной выделения водорода при нагреве образцов сталей является предварительная обработка поверхностей сталей как путем термической металлизации алюминием, так и нанесением цинковой композиции.

Ключевые слова: водород, защитные покрытия, защитная оболочка, реактор, тяжелая авария.

Анализ возможности автоматизированной оценки величины течи парогенераторов на АЭС с ВВЭР по данным АСРК

В.Б. Гайко, Ю.В. Крюков, Т.В. Ситникова

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова, г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

Аннотация

На примере проектов энергоблоков Ленинградской АЭС-2 и Тяньваньской АЭС в КНР обсуждается эффективность использования методов радиационного контроля для раннего обнаружения и оценки величины течи теплоносителя первого контура в парогенераторы ВВЭР по данным системы автоматизированного радиационного контроля.

Рассмотрены факторы, влияющие на корректность оценок величины течи теплоносителя первого контура в парогенераторы, основанных на контроле мощности дозы излучения радионуклида ^{16}N от трубопровода острого пара, на активности реперных радионуклидов в продувочной воде, на активности парогазовой смеси на выхлопе эжекторов и на контроле мощности дозы излучения от фильтров СВО продувочной воды.

Обсуждаются перспективы использования вновь разработанных отечественных технических средств (радиометров-спектрометров) для раннего обнаружения и оценки величины течи теплоносителя первого контура на АЭС с ВВЭР.

Ключевые слова: система автоматизированного радиационного контроля, ВВЭР, теплоноситель первого контура, парогенератор, объемная активность радионуклидов, инертные радиоактивные газы, контроль течи, устройства детектирования.

О нормативном регулировании систем вентиляции, важных для безопасности атомных станций

А.В. Курындин, А.С. Шаповалов, М.Ю. Орлов, А.В. Коршунков

ФБУ «НТЦ ЯРБ», Москва, Россия

Аннотация

В настоящей статье представлен анализ национальной системы нормативного регулирования систем вентиляции атомных станций, важных для безопасности, а также международных подходов, применяемых при проектировании и эксплуатации вышеуказанных систем.

По результатам выполненного анализа, в настоящей статье предложены основные направления совершенствования федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Правила устройства и эксплуатации систем вентиляции, важных для безопасности, атомных станций» (НП-036-05). Предложенные направления совершенствования требований НП-036-05 при их плановом пересмотре позволят повысить эффективность нормативного регулирования систем вентиляции, важных для безопасности атомных станций, а также их безопасность и конкурентоспособность.

Ключевые слова: атомные станции, системы вентиляции, йодные и аэрозольные фильтры, проектирование, монтаж и эксплуатация.