

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

№ 4 (10) 2017 г.

Сосновый Бор
2017

ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Периодический рецензируемый научно-технический сборник
№ 4 (10) 2017

Издается с 2015 года

Сборник распространяется на территории Российской Федерации

Редакционная коллегия

Главный редактор — **В. А. Василенко**, доктор технических наук, генеральный директор
ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
Заместитель главного редактора — **Р. Д. Филин**, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».

Члены редакционной коллегии

В. Р. Аксенов, (ответственный редактор), кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
В. И. Альмяшев, кандидат химических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
А. Я. Благовещенский, доктор технических наук, профессор ВУНЦ-ВМФ «Военно-морская академия», Военно-морской политехнический институт, Санкт-Петербург.
В. И. Бурсук, кандидат технических наук, заместитель Главнокомандующего ВМФ по вооружению — начальник кораблестроения и вооружения.
В. С. Гурский, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
А. В. Ельшин, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
А. А. Ефимов, кандидат химических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
В. Н. Зимаков, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
Ю. В. Крюков, (ответственный секретарь), кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
Ю. А. Мигров, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
Л. Н. Москвин, доктор химических наук, Санкт-петербургский государственный университет.
Е. Б. Панкина, кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».
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».
О. Б. Самойлов, доктор технических наук, АО «ОКБМ Африкантов».
В. Б. Хабенский, доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова».

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 г.

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

Телефоны: 8 (813-69) 2-39-64 — заместитель гл. редактора. 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».

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

© ФЯО ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», 2017

Содержание

Выпуск № 4 (10) 2017

Предисловие	7
<i>Стендовые испытания транспортных ЯЭУ</i>	
В. И. Бурсук, В. А. Василенко, С. А. Петров Перспективы продолжения испытаний ядерной энергетической установки на стенде-прототипе КВ-1 в 2017–2019 годах	9
<i>Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ</i>	
В. Г. Артёмов, Л. М. Артёмова, А. С. Иванов, В. Г. Коротаев Оценка влияния неопределенности эффективной температуры твэла на результаты моделирования реактивностных аварий с использованием сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей	18
<i>Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования</i>	
В. Г. Крицкий, И. Г. Березина, Е. А. Моткова Модель коррозии циркониевых сплавов в водном теплоносителе ВВЭР при нормальной эксплуатации.	29
Т. В. Воронина, К. А. Коноплев Контроль герметичности корпуса реактора ПИК на основе мониторинга содержания дейтерия в тяжелой воде контура жидкостного регулирования . . .	40
<i>Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду</i>	
К. Б. Розов, В. Г. Румынин, А. М. Никуленков, Е. Б. Панкина, М. П. Глухова, Н. В. Черноморова Экспериментальное изучение сорбции радионуклидов в трещиноватых породах и расчёт фактора сорбционной задержки при их миграции	48
<i>Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики</i>	
В. И. Альмяшев, В. С. Грановский, В. Б. Хабенский, Е. В. Крушинов, А. А. Сулацкий, С. А. Витоль, В. В. Гусаров, С. В. Бешта Экспериментальное исследование процессов окисления расплава кориума в корпусе реактора	59
<i>Информационные сообщения</i>	
А. И. Горшков, Е. Е. Щербаков, О. В. Прохоркина, А. Н. Мельниченко, А. А. Амосов Автоматизированный анализ растворенных в воде газов с использованием хроматографа «ХРОМАТЭК–ГАЗОХРОМ 2000»	85
<i>Информация для авторов</i>	
Требования к оформлению и содержанию статей, публикуемых в научно-техническом сборнике «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок»	92
Правила подачи материалов в редакцию	96

УДК 621.039

Перспективы продолжения испытаний ядерной энергетической установки на стенде-прототипе КВ-1 в 2017–2019 годах

¹*В. И. Бурсук*, ²*В. А. Василенко*, ³*С. А. Петров*

¹ Министерство обороны Российской Федерации (ВМФ), г. Санкт-Петербург

² ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской области

³ НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Представлены результаты исследования отечественного и зарубежного опыта планирования и выполнения работ по созданию основного оборудования корабельных ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Отмечено, что работы по созданию реакторного оборудования для обеспечения назначенных сроков строительства корабля с ЯЭУ начинаются задолго до планового срока сдачи корабля заказчику. Приведены типовые модели (схемы эксплуатации) кораблей с ЯЭУ ВМС США. Показаны место и роль стендовой отработки комплексов ЯЭУ для снижения технического риска использования оборудования ЯЭУ в составе корабля.

Ключевые слова: ядерная энергетическая установка, наработка оборудования корабельной ЯЭУ, испытания на полномасштабном наземном стенде, обеспечение безопасности проведения испытаний оборудования корабельной ЯЭУ.

УДК 621.039.51

Оценка влияния неопределенности эффективной температуры твэла на результаты моделирования реактивностных аварий с использованием сопряженных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей

В. Г. Артёмов, Л. М. Артёмова, А. С. Иванов, В. Г. Коротаев

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

Аннотация

На примере моделирования аварии с выбросом стержня исследуется чувствительность результатов расчетов к неопределенностям модели твэла, связанных с неравномерностью распределения температуры по сечению сердечника и величиной газового зазора в твэлах ВВЭР. На основе численного решения тестовых задач рассмотрены различные варианты выбора «эффективной средней» температуры для учёта влияния неравномерности распределения температуры топлива на величину эффекта Доплера при моделировании реактивностных аварий с использованием расчетных моделей с распределенной нейтронной кинетикой. Представленные в статье результаты актуальны при проведении расчётных исследований реактивностных аварий методом анализа неопределённостей и чувствительности.

Ключевые слова: эффективная температура топлива, модель твэла, эффект Доплера, нейтронная кинетика, реактивная авария, выброс стержня.

УДК 621.039.546

Модель коррозии циркониевых сплавов в водном теплоносителе ВВЭР при нормальной эксплуатации

В. Г. Крицкий, И. Г. Березина, Е. А. Моткова

Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт энергетических технологий «АТОМПРОЕКТ» (АО «АТОМПРОЕКТ»),
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В статье представлены результаты модельного расчета влияния состава циркониевых сплавов на их коррозию в нормальных условиях эксплуатации ВВЭР. В основе лежит термодинамический метод анализа уравнений высокотемпературного окисления циркониевых оболочечных сплавов. Рассчитана кинетика окисления сплавов Э110, Э635. Сделан прогноз коррозии сплава Э110 в реакторной установке ВВЭР-1200.

Модель может служить основой расчетного кода для предсказания коррозионного поведения разных сплавов в реакторах.

Ключевые слова: сплавы циркония, кинетика окисления, расчетный код.

УДК 621. 039.534

Контроль герметичности корпуса реактора ПИК на основе мониторинга содержания дейтерия в тяжелой воде контура жидкостного регулирования

Т. В. Воронина, К. А. Коноплев

НИЦ «Курчатовский институт» — ПИЯФ, г. Гатчина Ленинградской области, Россия

Аннотация

В статье представлены результаты разработки нового метода обнаружения сквозных трещин в корпусе высокопоточного исследовательского реактора ПИК. Метод основан на том, что появление сквозных трещин в корпусе реактора приводит к возникновению малой течи воды из легководного первого контура в тяжеловодный контур охлаждения корпуса реактора (контур жидкостного регулирования, далее контур ЖР), и, как следствие, к снижению концентрации дейтерия в теплоносителе контура ЖР. Описана разработанная авторами система непрерывного мониторинга содержания дейтерия в воде контура ЖР на базе проточного автоматического анализатора изотопного состава тяжелой воды, использование которой позволит существенно сократить время обнаружения течи по сравнению со штатными датчиками контроля по давлению и уровню.

Ключевые слова: реактор ПИК, обнаружение течи, БИК-спектрометр.

Экспериментальное изучение сорбции радионуклидов в трещиноватых породах и расчёт фактора сорбционной задержки при их миграции

¹ К. Б. Розов, ¹ В. Г. Румынин, ¹ А. М. Никуленков, ² Е. Б. Панкина,
² М. П. Глухова, ² Н. В. Черноморова

¹ Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии РАН им. Е. М. Сергеева, Россия
² ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», г. Сосновый Бор Ленинградской области, Россия

Аннотация

В работе представлена оценка влияния сорбционных свойств трещиноватых горных пород участка «Енисейский» (Нижне-Канский массив, Красноярский край) на процессы переноса радиоактивных компонентов (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁷⁹Se, ⁹⁹Tc, ¹⁵²⁽¹⁵⁴⁾Eu, ²³⁹⁽²⁴⁰⁾Pu) в условиях планируемого глубинного захоронения радиоактивных отходов. Продемонстрированы результаты по изучению сорбции радионуклидов из подземных вод на образцы горных пород из зон повышенной трещиноватости. Получены оценки скорости распространения радиоактивного загрязнения от источника до границы разгрузки подземного потока для создания трехзонной модели трещиноватости в горном массиве. Исследования являются актуальными в связи с широким общественным вниманием к оценке воздействия радиоактивных компонентов на окружающую среду при создании объекта окончательной изоляции (захоронения) в глубоких геологических формациях.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, сорбция, транспорт радионуклидов, захоронение радиоактивных отходов, радиоактивное загрязнение.

УДК 621.039.586

Экспериментальное исследование процессов окисления расплава кориума в корпусе реактора

¹ В. И. Альмяшев, ¹ В. С. Грановский, ¹ В. Б. Хабенский, ¹ Е. В. Крушинов,
¹ А. А. Сулацкий, ¹ С. А. Витоль, ² В. В. Гусаров, ³ С. В. Бешта

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

² Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

³ Королевский технологический институт (КТН), Стокгольм, Швеция

Аннотация

Применительно к задаче удержания расплава в корпусе реактора при тяжелой аварии, в рамках проектов МНТЦ METCOR-P, EVAN и программы OECD MASCA, на экспериментальной установке «Расплав-3» проведены опыты по исследованию переходных процессов окисления расплава прототипного кориума. Получены качественные и количественные данные по влиянию типа окислителя, состава расплава, состояния поверхности ванны на скорость окисления расплава. Выполнен анализ экспериментальных данных по скорости окисления расплава, определяющей дополнительное тепловыделение и выход водорода, а также проведена оценка времени инверсии оксидной и металлической частей ванны расплава в процессе ее окисления. Полученные данные могут быть использованы для анализа и обоснования возможности удержания расплава кориума в корпусе реактора.

Ключевые слова: кориум, тяжелые аварии, внутрикорпусное удержание, кинетика окисления, водородная безопасность, пространственная инверсия расплава, индукционная плавка в холодном тигле.

УДК 620.179.152

Автоматизированный анализ растворенных в воде газов с использованием хроматографа «ХРОМАТЭК–ГАЗОХРОМ 2000»

А. И. Горшков, Е. Е. Щербаков, О. В. Прохоркина, А. Н. Мельниченко, А. А. Амосов

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

Аннотация

Описана автоматизированная система анализа растворенных газов на основе метода жидкостно-газовой хроматографии с использованием портативного газового хроматографа «Хроматэк-Газохром 2000». Приведены характеристики системы и примеры ее использования в области химико-технологического контроля на объектах атомной энергетики.

Ключевые слова: жидкостно-газовая хроматография, растворенные газы, методика измерений, автоматизированная система.