

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

№ 1 (11) 2018 г.

Сосновый Бор
2018

ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Периодический рецензируемый научно-технический сборник
№ 1 (11) 2018

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», 2018

Содержание

Выпуск № 1 (11) 2018

Предисловие	7
<i>Дискуссионные вопросы развития атомной энергетики</i>	
А. Я. Благовещенский, Л. Б. Гусев О необходимости создания энергоблоков с корпусными кипящими реакторами (ВВЭРК) для отечественной атомной энергетики	9
<i>Исследование динамики и создание технологий испытаний объектов с ЯЭУ</i>	
И. Е. Батягин, А. Л. Дмитриев Экспериментальная отработка методик проверки функционирования и технического состояния рабочих органов компенсации реактивности на стенде-прототипе КВ-1	18
<i>Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ</i>	
Д. Н. Жуковский, Д. А. Мартюшев Соотношение эффективности органов регулирования как характеристика изменения неравномерности распределения нейтронов в активной зоне реактора	24
С. С. Чепилко, Ю. В. Юдов, И. Г. Данилов Моделирование сопряженного теплообмена методом вложенной границы в РК КОРСАР/CFD	30
<i>Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования</i>	
В. Г. Крицкий, И. Г. Березина, П. С. Стяжкин, Н. А. Прохоров Зависимость равномерной коррозии конструкционных материалов в водных контурах АЭС от термодинамических факторов равновесия. Часть 1. Сплавы на основе железа	45
<i>Исследование процессов при тяжелых авариях на объектах атомной энергетики</i>	
В. Б. Хабенский, А. Л. Сироткина, В. И. Альмяшев, Е. Д. Федорович, В. В. Сергеев, И. К. Боричева, В. В. Гусаров Экспериментальное исследование влияния на критический тепловой поток слоя из наночастиц, формирующегося при кипении ZrO_2/H_2O наножидкости	55
<i>Информация для авторов</i>	
Требования к оформлению и содержанию статей, публикуемых в научно-техническом сборнике «Технологии обеспечения жизненного цикла ядерных энергетических установок»	70

УДК 621.039.524.443

О необходимости создания энергоблоков с корпусными кипящими реакторами (ВВЭРК) для отечественной атомной энергетики

А. Я. Благовещенский, Л. Б. Гусев

Военно-Морской Политехнический Институт ВУНЦ ВМФ «Военно-Морская Академия»,
Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

В статье анализируется ситуация, сложившаяся в отечественной атомной энергетике, когда в связи с прекращением строительства энергоблоков с канальными кипящими реакторами после Чернобыльской аварии полностью прекращено создание одноконтурных реакторных установок. Отмечается, что за рубежом имеется около 100 успешно эксплуатируемых энергоблоков с корпусными кипящими реакторами (BWR). Показано, что отечественная наука и промышленность достаточно подготовлены для создания перспективных ядерных энергетических установок с корпусными кипящими реакторами, которые в ряде случаев могут являться более предпочтительными по сравнению с другими вариантами решения актуальных энергетических задач.

Ключевые слова: реактор, активная зона, кипение, реактивность, надежность, безопасность.

УДК 621.039.526.24

Экспериментальная отработка методик проверки функционирования и технического состояния рабочих органов компенсации реактивности на стенде-прототипе КВ-1

И. Е. Батягин, А. Л. Дмитриев

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

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы оценки технического состояния рабочих органов компенсации реактивности в составе системы управления и защиты паропроизводящей установки ЯЭУ транспортного типа, обсуждаются возможные подходы к их решению и результаты, полученные в процессе реализации указанных подходов, на примере наземного стенда-прототипа КВ-1.

Ключевые слова: паропроизводящая установка, органы компенсации реактивности, техническое состояние, продление ресурса, система управления и защиты, система безопасности, методики.

УДК 621.039.51

Соотношение эффективности органов регулирования как характеристика изменения неравномерности распределения нейтронов в активной зоне реактора

Д. Н. Жуковский, Д. А. Мартюшев

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

Аннотация

В статье представлены данные по аппаратурному обеспечению и анализу особенностей условий проведения измерений реактивных характеристик активной зоны реактора стенда-прототипа транспортной ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Рассмотрено изменение соотношения эффективности рабочих органов системы управления и защиты (СУЗ), как характеристика изменения азимутальной неравномерности распределения нейтронного поля в течение кампании реактора. Полученные данные актуальны для расчетного моделирования динамики нейтронно-физических и теплогидравлических процессов ЯЭУ стенда и верификации программных расчетных кодов, используемых для сопровождения проводимых испытаний.

Ключевые слова: реактивность, эффективность органов регулирования, аварийная защита, кампания реактора

Моделирование сопряженного теплообмена методом вложенной границы в РК КОРСАР/CFD

С. С. Чепилко, Ю. В. Юдов, И. Г. Данилов

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

Аннотация

В статье представлено описание программной реализации и результатов тестирования блока трехмерного моделирования сопряженного теплообмена теплоносителя с теплопроводящими конструкциями в рамках развития расчетного кода (РК) КОРСАР/CFD. Работа включала в себя модификацию сеточного генератора CFD-модуля, программных средств DLC, создание нового типового элемента кода и алгоритмов решения нестационарного пространственного уравнения теплопроводности в нем, программную реализацию алгоритма стыковки на поверхностях сопряженного теплообмена, модификацию РК КОРСАР/CFD с учетом объединенного решения уравнения переноса тепла в жидкости и твердом теле. Тестирование новой версии кода было проведено с помощью расчета различных задач теплопроводности и сопряженного теплообмена, включая естественно-конвективные течения в кавернах с теплопроводящими стенками конечной толщины.

Ключевые слова: декартова сетка, вычислительная гидродинамика, иерархические древовидные структуры данных, метод вложенной границы, сопряженный теплообмен, нестационарное уравнение теплопроводности, свободная конвекция, приближение Буссинеска.

УДК 621.039.534.44

Зависимость равномерной коррозии конструкционных материалов в водных контурах АЭС от термодинамических факторов равновесия.

Часть 1. Сплавы на основе железа

В. Г. Крицкий, И. Г. Березина, П. С. Стяжкин, Н. А. Прохоров

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

Аннотация

Представлен методологический подход к прогнозированию коррозии конструкционных материалов — сплавов на основе железа — в водных контурах АЭС. Физико-химическая основа метода — установленная на основе экспериментальных исследований зависимость скорости процесса окисления от рассчитанной термодинамической равновесной валовой концентрации продуктов коррозии в теплоносителе. Установлено, что процесс коррозии контролируется кинетикой диффузии воды через образующуюся на поверхности металла пленку оксида (гидроксида).

Ключевые слова: АЭС, водный теплоноситель, конструкционные материалы, коррозия, термодинамическое равновесие, кинетика окисления.

УДК 536.24 + 62–408

Экспериментальное исследование влияния на критический тепловой поток слоя из наночастиц, формирующегося при кипении ZrO_2/H_2O наножидкости

*В. Б. Хабенский*¹, *А. Л. Сироткина*², *В. И. Альмяшев*^{1,3}, *Е. Д. Федорович*²,
*В. В. Сергеев*², *И. К. Боричева*², *В. В. Гусаров*^{3,4}

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

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия;

³ ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В. И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»», Санкт-Петербург, Россия;

⁴ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, РАН, Санкт-Петербург, Россия.

Аннотация

Приведены результаты экспериментов, направленных на исследование процесса образования слоя из наночастиц на обогреваемой поверхности в ходе кипения водной дисперсии наночастиц ZrO_2 (наножидкости) и влияния сформированного слоя на величину критического теплового потока. Варьируемыми параметрами являлись: объемная концентрация наночастиц; время выдержки в режиме пузырькового кипения; начальная величина теплового потока в режиме выдержки. Методом сканирующей электронной микроскопии проведен анализ морфологии образующегося при разных условиях слоя. Определено влияние параметров кипения на образование слоя из наночастиц на поверхности нагрева и свойств образованного слоя на величину критического теплового потока. Полученные данные могут быть использованы при разработке новых технологий повышения эффективности установок кипящего типа, в том числе, и в атомной энергетике.

Ключевые слова: наножидкость, наночастицы ZrO_2 , наноструктурированный слой, микроструктура, запас до кризиса кипения, критический тепловой поток, влияние параметров.