

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 (22) 2020

Сосновый Бор  
2020

# ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Периодический рецензируемый научно-технический сборник

№ 4 (22) 2020

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.Р. Аксенов,** (ответственный редактор), кандидат технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.
- 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.
- А.Л. Дмитриев,** ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.
- А.В. Ельшин,** доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.
- А.А. Ефимов,** доктор технических наук, ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», г. Сосновый Бор.
- В.Н. Зимаков,** 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.Б. Самойлов,** доктор технических наук, АО «ОКБМ Африкантов», г. Нижний Новгород.
- 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 № 4 (22) 2020

Моделирование и исследование нейтронно-физических и теплогидравлических процессов объектов с ЯЭУ	
А.В. Ельшин	
Граничные условия в методе поверхностных гармоник .....	14
Ю.В. Юдов, С.Н. Румянцев, С.С. Чепилко	
Расчёты по коду КОРСАР/CFD процессов перемешивания теплоносителя в модели реактора ВВЭР-1000 на стенде ОКБ «ГИДРОПРЕСС» при функционировании различного количества циркуляционных насосов .....	26
Химические технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ, радиохимические и материаловедческие исследования	
А.М. Алешин, А.А. Афанасьев, А.А. Змитродан	
Вывод из эксплуатации стендовых установок по отработке технологий дезактивации и обращения с радиоактивными отходами для объектов ВМФ .....	42
Влияние объектов атомной энергетики на окружающую среду	
В.А. Ерзова, К.Б. Розов, В.Г. Румынин	
Тепловое влияние АЭС на изменение параметров микроклимата .....	55
Исследование процессов при тяжёлых авариях на объектах атомной энергетики	
В.И. Альмяшев, В.Б. Хабенский, Е.В. Крушинов, С.А. Витоль, А.А. Сулацкий, Е.В. Шевченко	
Исследования, выполненные на комплексе экспериментальных установок «Расплав» отдела исследований тяжёлых аварий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» .....	69

УДК 621.039.51

## Граничные условия в методе поверхностных гармоник

*А.В. Ельшин*<sup>1, 2</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия

### Аннотация

При проведении нейтронно-физического расчёта ядерного реактора, в частности, при вычислении пространственно-энергетического распределения нейтронов в диффузионном или более высоких приближениях уравнения переноса нейтронов (например, методом поверхностных гармоник), на границах реактора ставятся вакуумные граничные условия Марка или Маршака. В настоящей работе сравнивается применение этих условий на примере решения тестовой одногрупповой одномерной задачи методом сферических гармоник (до  $P_{97}$ -приближения) и в различных приближениях метода поверхностных гармоник.

**Ключевые слова:** Метод поверхностных гармоник, метод сферических гармоник, вакуумные граничные условия, условия Марка, условия Маршака, тестовая задача.

УДК 532.542: 004.942

## **Расчёты по коду КОРСАР/CFD процессов перемешивания теплоносителя в модели реактора ВВЭР-1000 на стенде ОКБ «ГИДРОПРЕСС» при функционировании различного количества циркуляционных насосов**

*Ю.В. Юдов, С.Н. Румянцев, С.С. Чепилко*

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

### **Аннотация**

В статье приведено сопоставление результатов расчётов по коду КОРСАР/CFD с данными второй серии экспериментов, проведённых на четырёхпетлевом стенде ОКБ «ГИДРОПРЕСС» для модели реактора ВВЭР-1000. Эксперименты моделируют процессы перемешивания в напорной камере реактора для режимов с возмущением по температуре или концентрации борной кислоты теплоносителя в одной из петель при работе разного количества циркуляционных насосов. Продемонстрировано значимое влияние на результаты расчётов малых изменений в условиях поступления теплоносителя из патрубков (наклон патрубков на 3°) и влияние картины течения теплоносителя в кольцевой области камеры на распределение концентрации борной кислоты на входе в активную зону.

**Ключевые слова:** реакторная установка, напорная камера, теплоноситель, концентрация, эксперимент, расчётный код, расчётная сетка, вычислительная гидродинамика.

УДК 621.039.74/75

## **Вывод из эксплуатации стендовых установок по отработке технологий дезактивации и обращения с радиоактивными отходами для объектов ВМФ**

*А.М. Алешин, А.А. Афанасьев, А.А. Змитродан*

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

### **Аннотация**

На примере ликвидации экспериментальных стендов по отработке технологий дезактивации и обращения с радиоактивными отходами для объектов ВМФ представлены методологические, технические и технологические аспекты опыта проведения работ по выводу из эксплуатации радиационно-опасного объекта. Дана характеристика оборудования, подлежащего выводу из эксплуатации с его демонтажем. Перечислены разработанная для выполнения работ проектная документация, необходимые технические средства и оборудование, способы и методы производства демонтажных и дезактивационных работ, номенклатура и количественные характеристики образующихся радиоактивных и незагрязнённых промышленных отходов, средства обращения с ними. Рассмотрены перспективы передачи образующихся отходов национальному оператору для окончательного захоронения.

**Ключевые слова:** экспериментальные стенды, вывод из эксплуатации, радиационно-опасный объект, радиоактивные загрязнения, дезактивация, дезактивирующие рецептуры, радиоактивные отходы, технические средства.

УДК 502.3

## Тепловое влияние АЭС на изменение параметров микроклимата

*В.А. Ерзова<sup>1,2</sup>, К.Б. Розов<sup>2,3</sup>, В.Г. Румынин<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский горный университет, Россия;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Россия;

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Наук о Земле, Россия

### Аннотация

Для охлаждения технологического оборудования на атомных электростанциях (АЭС) и отвода избыточного тепла используются градирни. Использование данных устройств может оказывать негативное воздействие на окружающую среду. По этой причине при проектировании энергоблоков АЭС проводят оценку воздействия градирен на окружающую среду. В данной статье приведены результаты прогнозных расчётов воздействия на окружающую среду башенных испарительных градирен для проектируемой Узбек-ской АЭС с помощью программного комплекса SACTI2. В работе проведено прогнозирование встречаемости паровоздушного шлейфа, затенённости территории, поглощения суммарной солнечной энергии шлейфом, выпадения осадков из паровоздушного шлейфа и засоления территории.

**Ключевые слова:** система охлаждения, градирни, атомная электростанция, программ-ный комплекс SACTI2, влияние на микроклимат, паровоздушный выброс.

УДК 621.039.586

## **Исследования, выполненные на комплексе экспериментальных установок «Расплав» отдела исследований тяжёлых аварий ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»**

*<sup>1,2</sup>В.И.Альмяшев, <sup>1</sup>В.Б. Хабенский, <sup>1</sup>Е.В. Крушинов, <sup>1</sup>С.А. Витоль,  
<sup>1</sup>А.А. Сулацкий, <sup>1</sup>Е.В. Шевченко*

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

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

### **Аннотация**

В статье приведен обзор направлений и результатов экспериментальных работ в области исследований тяжёлых аварий АЭС, проводимых на комплексе экспериментальных установок «Расплав» в ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова». Результаты проведенных работ актуальны и используются для обоснования систем безопасности АЭС, повышения точности прогнозирования сценариев тяжёлых аварий на АЭС, при разработке и обосновании функционирования в экстремальных условиях новых материалов атомной энергетики.

**Ключевые слова:** тяжёлые аварии, коритум, безопасность АЭС, комплекс экспериментальных установок «Расплав» (КЭУ «Расплав»), индукционная плавка в холодном тигле (ИПХТ).