

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР “КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ”

**В О П Р О С Ы  
А Т О М Н О Й  
Н А У К И  
И  
Т Е Х Н И К И**

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК**

**СЕРИЯ:**

**Ф И З И К А Я Д Е Р Н Ы Х Р Е А К Т О Р О В**

**ИЗДАЁТСЯ с 1989 г.**

**ВЫПУСК 2**

**Ф И З И К А И М Е Т О Д Ы Р А С Ч Ё Т А  
Я Д Е Р Н Ы Х Р Е А К Т О Р О В**

**ИЗДАЁТСЯ с 1981 г.**

**МОСКВА – 2013**

УДК 681.6

**О формировании асимптотического спектра  
предшественников запаздывающих нейтронов при измерении  
эффективности аварийной защиты ВВЭР-1000**

*Л.К. Шишков, М.Н. Зизин,*

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1

Рассматривается процесс установления асимптотического распределения плотности потока нейтронов в реакторных системах после введения разных отрицательных реактивностей. Оценено влияние двух моментов после введения реактивности: 1) неравномерности возмущения свойств активной зоны, с одной стороны, и 2) резкого уменьшения плотности мгновенных нейтронов, что препятствует появлению новых эмиттеров запаздывающих нейтронов, распределённых в соответствии с распределением “новых” мгновенных нейтронов, с другой стороны. Результаты расчётов показали, что погрешности измерения эффективности органов регулирования методом ОРУК обусловлены тем, что после введения отрицательной реактивности источники мгновенных и запаздывающих нейтронов имеют различное пространственное распределение. При больших отрицательных реактивностях это различие сохраняется до момента, когда в системе ещё имеются нейтроны, которые можно фиксировать.

*Ключевые слова:* ВВЭР-1000, ОРУК, эффективность аварийной защиты, запаздывающие нейтроны, двугрупповое диффузионное приближение, 3D треугольная геометрия, ShIPR.

УДК 621.039

**Результаты расчёта нейтронно-физических характеристик  
3D модели реактора ГТ-МГР по коду MCU-HTR**

*С.Л. Осипов, С.Е. Сорокин, Ю.П. Сухарев,*

ОАО “ОКБМ Африкантов”, 603074, г. Н. Новгород, Бурнаковский пр., 15,

*Е.С. Глушков, М.И. Гуревич, П.А. Фомиченко,*

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1

Представлены результаты разработки нейтронно-физической модели высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР) ГТ-МГР для кода MCU-HTR и результаты тестовых расчётов запаса реактивности, распределения энерговыделения в активной зоне и эффективности систем компенсации реактивности. Разработанная для выполнения расчётов 3D модель реактора учитывает основные конструктивные особенности ГТ-МГР, характеристики используемого топлива, а также принятые в проекте схемы профилирования загрузки топлива и выгорающего поглотителя, высотного расположения топливных блоков со смещением и перегрузки ТВС. Прделанная работа является частью запланированного комплекса расчётных исследований, направленных на верификацию расчётных программ, библиотек и приближений.

*Ключевые слова:* нейтронно-физические характеристики, 3D модель, ГТ-МГР, программа MCU-HTR.

УДК 621.039

**О возможности использования оксидного  
уран-бериллиевого топлива в ВВЭР**

*А.А. Ковалишин, В.Н. Просёлков, В.Д. Сидоренко,*

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1,

*Ю.В. Стогов,*

НИЯУ “МИФИ”, 115409, Москва, Каширское ш., 31

Рассматривается возможность использования ( $UO_2$ -BeO)-топлива в ВВЭР с учётом теплофизических свойств. Приводится оценка нейтронно-физических характеристик ТВС ВВЭР с ( $UO_2$ -BeO)-твэлами.

*Ключевые слова:* ВВЭР, оксидное уран-бериллиевое топливо, топливные таблетки.

**УДК 621.039.54, 621.039.526**

## **Эволюция пор в топливной оболочке электрогенерирующего канала**

*И.В. Васильев, А.С. Иванов,*

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1

В обоснование эксплуатационной надёжности твэлов при разработке проекта космической ядерной энергодвигательной установки (ЯЭДУ) мегаваттного класса могут быть использованы результаты реакторных испытаний карбонитридного топлива в монокристаллической оболочке из сплава на основе молибдена, проведенных ранее на опытной установке Я-82 в течение 8 300 часов при температуре  $\sim 1\ 500\ ^\circ\text{C}$ . На растровом изображении поверхности образца оболочки обнаружено декорирование границ раздела слоёв порами. В настоящей работе этот результат объяснён с применением теории коалесценции. Рассмотрены механизмы эволюции пор, реализующиеся при параметрах эксперимента на установке Я-82. Дано объяснение эффекта декорирования порами границ раздела слоёв образца оболочки электрогенерирующего канала при проведении реакторных испытаний. Получена зависимость среднего радиуса пор от времени эксперимента. Оценка средних размеров пор, возникающих в условиях эксперимента, даёт значение  $\sim 2\ \mu\text{м}$ , что согласуется с полученными экспериментальными данными. Проведено расчётное исследование набухания материала оболочки в процессе облучения. Выполнены прогнозные оценки поведения пористой системы и набухания материала оболочки для ЯЭДУ мегаваттного класса.

*Ключевые слова:* электрогенерирующий канал, поры, коалесценция, набухание материала под облучением.

**УДК 621.039.50**

## **Область маневрирования ВВЭР-1000 при работе в суточном графике нагрузки**

*А.А. Дубов,*

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1

Анализируется возможность работы ВВЭР-1000 в режиме маневрирования мощностью при наиболее консервативных приближениях с точки зрения управления полем энерговыделения.

*Ключевые слова:* ВВЭР-1000, маневрирование, поле энерговыделения.

**УДК 621.039**

## **Расчётно-экспериментальное обоснование модели теплопередачи в ТВС, используемой в коде ТИГР-1, в режимах с кризисом теплообмена**

*В.А. Болнов, В.Г. Демуров, В.И. Печёнкин, О.Б. Самойлов, В.В. Шашков,*

ОАО “ОКБМ Африкантов”, 603074, г. Н. Новгород, Бурнаковский проезд, 15,  
*А.Б. Долгов, А.В. Узрюмов,*  
ОАО “ТВЭЛ”, 115409, Москва, Каширское шоссе, 49

На экспериментальных данных, полученных для макетов ТВС в режимах с кризисом теплоотдачи, проведена оценка консерватизма модели расчёта температуры оболочки твэла, используемой в коде ТИГР-1, при переходе в закризисную область теплообмена и обратно.

*Ключевые слова:* кризис теплоотдачи, критический тепловой поток, улучшенная кривая кипения, максимальная температура оболочки топлива.

**УДК 621.039.58**

**Анализ неопределённостей результатов расчёта режима  
с разрывом паропровода на установке АЭС-2006 по коду КОРСАР/ГП  
с применением программы LINQUAD**

*И.Г. Петкевич, М.А. Увакин,*

ОАО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, г. Подольск Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

Представлен анализ неопределённостей результатов расчёта режима с разрывом полным сечением паропровода парогенератора (ПГ) на блоке АЭС-2006 (проект В-392М). Для вычисления неопределённостей предлагается программа LINQUAD, реализующая метод построения поверхности отклика. Проводится сравнение с общепринятым методом GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit), анализируются реалистичные границы значений критериев безопасности с учётом неопределённости физических параметров, в наибольшей степени влияющих на результаты расчёта.

*Ключевые слова:* анализ неопределённостей, метод поверхности отклика, переходный аварийный процесс, разрыв паропровода, параметры расчётной модели, метод GRS, программа LINQUAD.

**УДК 621.039**

**Современные разработки систем пассивного отвода тепла  
водоохлаждаемых реакторов**

*А.В. Морозов, О.В. Ремизов,*

ФГУП “ГНЦ РФ-ФЭИ”, 249033, г. Обнинск Калужской обл., пл. Бондаренко, 1

Представлен обзор систем пассивного отвода тепла, предназначенных для охлаждения активных зон ядерных реакторов в случае аварии. На основании общих признаков создана классификация систем пассивного отвода остаточного тепловыделения. Выполненный обзор позволил выявить разнообразие конструкторских и схемных решений, использованных в системах пассивного теплоотвода АЭС.

*Ключевые слова:* активная зона, остаточное тепловыделение, пассивные системы.

**УДК 621.039.534**

**Реакторные установки с горизонтальными парогенераторами**

*А.В. Безносков, О.О. Новожилова, А.А. Молодцов, М.В. Ярмонов, П.А. Боков, А.В. Назаров,*  
НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24

Рассмотрено применение горизонтальных парогенераторов (ПГ) в реакторных установках со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями.

*Ключевые слова:* реактор на быстрых нейтронах, горизонтальный ПГ, свинцовый теплоноситель, межконтурная плотность ПГ.

**УДК 621.039.5:004.4**

## **Сравнение результатов моделирования развития ядерной энергетики России с помощью программных комплексов CYCLE и MESSAGE**

*А.Ф. Егоров, А. Г. Калашников, В.В. Коробейников, В.Е. Коробицын,  
А.Л. Мосеев, П.А. Мосеев, Е.В. Поплавская,*  
ФГУП “ГНЦ РФ-ФЭИ”, 249033, г. Обнинск Калужской обл., пл. Бондаренко, 1

Выполнены расчёты упрощенных сценариев и сценария развития ядерной энергетики (ЯЭ) России с помощью программных комплексов CYCLE и MESSAGE. Проведен анализ точности моделирования баланса ядерных материалов в оптимизационной программе по общей энергетике MESSAGE. В сценариях развития ЯЭ моделировались работа реакторов на быстрых, тепловых нейтронах и сопутствующая инфраструктура пред- и послереакторной стадий системы ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Входными данными для программы MESSAGE послужили усреднённые характеристики поверочной программы CYCLE, в которой реализуется моделирование физических процессов на разных этапах ЯТЦ.

*Ключевые слова:* MESSAGE, CYCLE, моделирование сценариев, анализ расчётов, сценарии развития ЯЭ.

**УДК 621.039**

## **Парадоксы забот о безопасности АЭС Письмо в редакцию**

*В.М. Мордашёв*

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1