

Аннотации статей  
журнала “Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов”,  
вып. № 2, 2015 г.

УДК 519.622

**Алгоритм решения линейной задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений большой размерности с использованием параллельных вычислений**

*А.В. Моряков*

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

Представлен алгоритм решения линейной задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений большой размерности. Предложенный алгоритм для линейных систем дифференциальных уравнений первого порядка реализован в программе *EDELWEISS* с возможностью использования параллельных вычислений на суперкомпьютерах, применяющих MPI (Message Passing Interface) стандарт для обмена данными между параллельными процессами. Решение представляется в виде ряда по ортогональным полиномам на отрезке  $[0, 1]$ . К особенностям алгоритма можно отнести его простоту и возможность решения нелинейных задач с поправкой оператора с учётом решения, полученного в итерационном процессе.

*Ключевые слова:* алгоритм, итерационный процесс, программа, система уравнений, решение, пространство, вектор.

УДК 621.039

**Программа *LUCKY\_TD* для решения нестационарного уравнения переноса с использованием параллельных вычислений**

*А.В. Моряков*

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

Представлен алгоритм решения нестационарного уравнения переноса в рамках группового  $P_mS_n$  метода с использованием параллельных вычислений. Предложенный алгоритм реализован в программе *LUCKY\_TD*. Программа создана для применения на суперкомпьютерах, в которых реализован MPI стандарт для обмена данными между параллельными процессами.

*Ключевые слова:* алгоритм, уравнение переноса,  $P_mS_n$  метод, итерационный процесс, программа, суперкомпьютер, функция, решение, пространственная подобласть.

УДК 621.039.51

**Эффективные условия для плотности потока нейтронов на аксиальных границах активной зоны**

*Е.А. Аристархова, В.М. Малофеев*

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

Получены аналитические выражения для элементов треугольной матрицы эффективных условий на границе активной зоны с многозонным отражателем в малогрупповом диффузионном приближении.

Проведена верификация разработанной методики на примерах расчёта ТВС легководного реактора с промежуточным спектром нейтронов.

*Ключевые слова:* поток нейтронов, ток нейтронов, активная зона, аксиальный отражатель, граничное условие.

УДК 621.039.55:621.039.5.001.24:621.039.566

## **Аксиальное профилирование поля энерговыделения для минимизации объёмной доли пара на выходе из ТВС ВВЭР-1200**

*В.И. Савандер, Б.Е. Шумский*

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

*А.А. Пинегин*

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

Представлены результаты исследования возможности снижения доли пара на выходе ТВС ВВЭР-1200 путём аксиального профилирования поля энерговыделения. Для профилирования поля энерговыделения применялось перераспределение по высоте твэга выгорающего поглотителя (гадолия). Исследования проводились на основе компьютерного моделирования с использованием кода NOSTRA.

*Ключевые слова:* ВВЭР-1200, компьютерное моделирование, аксиальное профилирование, выгорающий поглотитель, истинная объёмная доля пара.

УДК 004.942; 623.98;629.12

## **Теплогидравлические реакторные коды III поколения. Современный статус и проблемы внедрения**

*Ю.М. Жуков, Д.С. Уртенев*

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

Рассмотрен комплекс проблем постепенного перехода от существующих теплогидравлических реакторных кодов II поколения, основанных на концепции двухжидкостной неравновесной модели течения, к реакторным кодам III поколения – трёхмерным кодам с учётом влияния турбулентности (3D+CFD). Для современного уровня описания физических явлений, происходящих в канале, охлаждаемом двухфазной средой, необходимо математическое моделирование процессов в трёхмерном пространстве с учётом влияния турбулентности. В условиях переизбытка информации такой анализ необходим для ясного понимания пределов работоспособности классических уравнений Навье–Стокса с учётом топологии реальных поверхностей, на которых и образуется паровая фаза. Переход к полномасштабному применению 3D CFD турбулентных кодов для оценки безопасности действующих ЯЭУ ожидается лишь в долгосрочной перспективе.

*Ключевые слова:* теплогидравлический реакторный код, вычислительная гидродинамика турбулентных многожидкостных потоков (3D CFD), прямое численное решение уравнений Навье–Стокса, V&V–верификация и валидация кода

УДК 621.039.5

## **Стохастическая модель формоизменения графитовой кладки РБМК**

*А.М. Федосов*

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

Разработана расчётная модель деформации графитовой кладки РБМК, вызванной образованием трещин в графитовых блоках. Ориентация трещин и зависимость размеров блоков от флюенса имеют стохастический характер. Для повышения точности расчётов используется информация об измеренных значениях прогибов отдельных каналов. Поле прогибов корректируется на основе принципа максимального правдоподобия. Приводится пример оптимизации схемы ремонта графитовой кладки.

*Ключевые слова:* РБМК, графитовая кладка, стохастическая модель, флюенс, прогибы каналов, принцип максимального правдоподобия, схема ремонта.

УДК 621.039.5.021

## **Модуль регистрации расширенного набора функционалов при расчёте фрагментов и активных зон РБМК по прецизионному коду MCU**

*С.А. Бычков, Р.В. Плеханов, Д.Л. Зинаков*

АО “ВНИИАЭС”, 109507, Москва, Ферганская ул., 25

Описан регистрационный пользовательский модуль прецизионного кода MCU [1]. Модуль разработан для регистрации функционалов при проведении трёхмерных расчётов фрагментов и полномасштабных активных зон РБМК-1000 методом Монте-Карло. Приводятся результаты, характеризующие апробацию модуля для расчёта полячек и полномасштабных загрузок в составе многопроцессорной версии прецизионного кода MCU.

*Ключевые слова:* РБМК-1000, расчётные коды, библиотека констант, прецизионный расчёт, прецизионный код MCU, регистрация, функционал, полячка, коэффициент размножения, метод Монте-Карло.

УДК 621.039.526

## **Интегральная система кодов Платформа БРЕСТ**

*А.В. Баловнев, А.П. Жирнов, А.Н. Иванюта, И.М. Рождественский, В.А. Юферева*

АО “НИКИЭТ”, 107140, Москва, Малая Красносельская ул., 2/8

Интегральная система кодов Платформа БРЕСТ предназначена для проведения полномасштабных прецизионных мультифизических расчётов реакторных установок (РУ) БРЕСТ-ОД-300 и БН-600. В Платформу БРЕСТ интегрированы проектные коды для нейтронно-физических и теплогидравлических расчётов активных зон. Описываются основные функции и возможности интегральной системы кодов.

*Ключевые слова:* РУ БРЕСТ-ОД-300, БН-600, платформа, FACT-BR, MCU-BR, TRIGEX, VEGA, MCNP, кросс-верификация, нейтронно-физический расчёт, картограмма, проектные коды.

УДК 621.039.51

**Расчётное моделирование нестационарных нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в активной зоне реакторной установки со свинцовым теплоносителем с учётом работы системы управления и защиты**

*А.В. Баловнев, А.Н. Иванюта, А.И. Ионов, А.П. Жирнов, П.Б. Кузнецов, Т.Ю. Сахарова*  
АО “НИКИЭТ”, 107140, Москва, Малая Красносельская ул., 2/8

Представлено краткое описание программного комплекса FACT-BREST [1, 2] для моделирования нестационарных нейтронно-физических и теплогидравлических процессов в активной зоне реакторной установки (РУ) с учётом работы систем регулирования. Представлены результаты расчётного моделирования переходных режимов нормальной эксплуатации РУ со свинцовым теплоносителем.

*Ключевые слова:* РУ БРЕСТ-ОД-300, FACT-BREST, нейтронно-физический расчёт, теплогидравлический расчёт, картограмма.

УДК 621.039.5

**Моделирование стартовой загрузки и начальных циклов работы МБИР**

*И.Б. Лукасевич, В.И. Мороко, В.Е. Попов, М.О. Левченко*  
АО “НИКИЭТ”, 107140, Москва, Малая Красносельская ул., 2/8

Приведены результаты расчётного моделирования стартовой загрузки и начальных циклов работы проектируемого реактора МБИР в рамках нейтронно-физического обоснования его конструкции и режимов эксплуатации. Показано, что для контроля уровня подкритичности на всех этапах физического пуска необходим источник нейтронов с мощностью  $10^8 \text{ с}^{-1}$ , размещённый в центре активной зоны. Предложен порядок загрузки топливных сборок для набора критической конфигурации активной зоны, которая достигается при загрузке 63 ТВС с частично введёнными РО СУЗ. Моделирование начальных циклов работы МБИР до выхода на равновесный режим работы выполнено на основе стратегии наискорейшего формирования проектной компоновки активной зоны и наискорейшего выхода на номинальную мощность работы. Показано, что интегральная по всем энергиям плотность потока нейтронов в экспериментальных устройствах с первых циклов близка к равновесным значениям  $(2...5) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

*Ключевые слова:* МБИР, быстрый реактор, исследовательский реактор, МСУ, TRIGEX.

УДК 621.039.51

**Использование связанного расчётного комплекса PRISET-MBIR для исследования штатных и аварийных режимов РУ МБИР**

*И.А. Ларионов, И.В. Платонов, А.В. Лопаткин, Ю.А. Долгов*  
АО “НИКИЭТ”, 107140, Москва, Малая Красносельская ул., 2/8

Обсуждаются основные принципы построения связанных нейтронно-физических и теплогидравлических расчётных комплексов для исследования переходных и аварийных режимов и обоснования безопасности. Описаны структурная схема разработанного комплекса и принципиальная расчётная схема теплогидравлической модели реакторной установки (РУ). Приведены описание модели трёхмерной кинетики активной зоны и результаты расчётных исследований аварийных режимов.

*Ключевые слова:* программный комплекс PRISET-MBIR, многоцелевой быстрый исследовательский реактор, трёхмерная модель кинетики активной зоны, модели контуров технологической схемы, переходные и аварийные режимы, безопасность.

УДК 621.039.51

## **Использование параллельных вычислений на многоядерных ЭВМ для ускорения счёта программного комплекса PRISET-MBIR**

*И.В. Платонов, А.В. Лопаткин, И.А. Ларионов, Ю.А. Долгов*  
АО “НИКИЭТ”, 107140, Москва, Малая Красносельская ул., 2/8

Продемонстрирована возможность использования параллельных вычислений для ускорения счёта комплекса PRISET-MBIR. Для этого рассмотрены различные математические методы решения матричных уравнений больших размерностей. Приведен способ распараллеливания этих методов при помощи директив OpenMP. Показано, что применение этих методов позволяет увеличить скорость счёта. Приведенные результаты показывают эффективность применения параллельных вычислений в программном комплексе PRISET-MBIR и возможности их использования в расчётных комплексах с моделями трёхмерной нейтронной кинетики.

*Ключевые слова:* программный комплекс, распараллеливание, математические методы, быстродействие, ускорение счёта.

УДК 621.039.54

## **Анализ области применимости термодинамических расчётов при проектировании твэлов с нитридным топливом**

*А.С. Иванов, А.А. Русинкевич, Г.В. Белов*  
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1  
*Ю.А. Иванов*  
ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, 123098, Москва, ул. Рогова, 5а

Проведен анализ областей применимости термодинамических расчётов в процессе разработки нитридного топлива. Выполнены оценки характерных значений параметров, непосредственно влияющих на время установления концентрационного равновесия: скорость генерации нуклидов; характерные времена установления локального равновесия в рассматриваемой области температур; характерное время установления стационарного температурного профиля; характерное время установления квазистационарного поля концентраций на размерах, сопоставимых с размерами топливной таблетки. Показано, что равновесные термодинамические расчёты могут быть использованы для оценки химического и фазового состава топлива, однако для описания процессов переноса как в конденсированной, так и в газовой фазе необходима разработка двухслойной кинетической модели. При этом в горячей области в центральной части твэла для определения состава необходимо принимать во внимание диффузионный перенос.

*Ключевые слова:* нитридное топливо, термодинамика, продукты деления.

УДК 621.039.54

## Некоторые особенности термодинамики нитридного уран-плутониевого топлива при выгорании

*А.А. Русинкевич, А.С. Иванов, Г.В. Белов*

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

*М.В. Скупов*

ВНИИНМ им. А.А. Бочвара, 123098, Москва, ул. Рогова, 5а

Проведено расчётное исследование влияния примесей углерода и кислорода на химический и фазовый составы нитридного уран-плутониевого топлива в процессе выгорания с использованием кода ИВТАНТЕРМО. Показано, что с ростом выгорания количество молей UN уменьшается, а UN<sub>1,466</sub>, UN<sub>1,54</sub> и UN<sub>1,73</sub> заметно возрастает. Присутствие примесей кислорода и углерода увеличивает содержание UN<sub>1,466</sub>, UN<sub>1,54</sub> и UN<sub>1,73</sub> фаз в исходном топливе на порядки величины, особенно в области сравнительно низких температур. Вместе с тем наличие примесей резко снижает содержание свободного урана в невыгоревшем топливе. Плутоний в рассматриваемой системе образует соединения Pu, PuC, PuC<sub>2</sub>, Pu<sub>2</sub>C<sub>3</sub> и PuN. Карбиды плутония, как и урана, образуются в незначительных количествах. Большая часть плутония остаётся в виде нитрида PuN, а несвязанный Pu присутствует только в областях малых выгораний и высоких температур.

*Ключевые слова:* нитридное топливо, термодинамика, продукты деления.

## Семинар “Физика ядерных реакторов”

Начиная с 1999 г. в НИЦ “Курчатовский институт” работает семинар “Физика ядерных реакторов”. Руководитель семинара – начальник Отдела физики ядерных реакторов С.М. Зарицкий.

К моменту выхода в свет настоящего выпуска журнала состоялись 147 заседаний семинара, тематика которого по факту не ограничивается заявленной в его названии.

В качестве докладчиков и участников семинара выступают специалисты НИЦ КИ и других Институтов.

Информация о семинаре размещается на сайте НИЦ “Курчатовский институт” ([www.nrcki.ru](http://www.nrcki.ru)), а также рассылается участникам семинара.

В 2014 году состоялись 7 заседаний семинара (со 134-го по 140-е). Информация о 134-137 заседаниях опубликована в выпуске № 1-2 за 2014 год, информация о 138-140 заседаниях семинара опубликована в выпуске № 4 за 2014.

В данном выпуске приводится информация о 141-147 заседаниях семинара и аннотации докладов, предоставленные докладчиками.