

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 1

**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 621.039.17

## Моделирование теплопередачи в геометрически сложных средах с объёмным источником

*М.И. Гуревич, О.В. Тельковская, Б.К. Чукбар, Д.А. Шкаровский,*  
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1

Топливные элементы, полученные из отработанного топлива, представляют собой пористые среды с переменными по пространству характеристиками. Предлагается иерархическая дискретная структура для численного моделирования процессов передачи тепла в средах с неизотропной геометрией, для которой характерны как микрополости, так и макроскопические изменения параметров. На нижнем уровне структуры базовым элементом служит ячейка, отображающая локальные свойства среды. Ячейки имеют стандартизованный интерфейс, позволяющий образовывать из них трёхмерные сети. Разные типы ячеек в сети представляют макроскопические изменения. Рассматриваются возможности организации параллельных вычислений.

*Ключевые слова:* теплопроводность, геометрически сложная среда, дискретные сети, параллельные вычисления.

УДК 621.039.17

## Проверка корректности приближения Хальда при оценке допуска

*М.И. Гуревич, М.А. Калугин, Б.К. Чукбар,*  
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1

Проведен анализ корректности применения приближённой формулы, широко используемой при оценке допусков результатов регрессионного анализа. Показана корректность приближения при часто используемом соотношении вероятность/уровень значимости, равном 95/95. Сформулированы условия применения при более жёстких требованиях, например, 99/99.

*Ключевые слова:* регрессионный анализ, уровень значимости.

УДК 519.85+614.876+621.039.5

## Распараллеливание расчёта переноса электронов методом Монте-Карло при использовании комплекса BRAND и библиотеки программ PARMONC

*В.И. Белоусов,*  
ИБРАЭ РАН, 115191, Москва, Большая Тульская ул., 52  
Поступила в редакцию 05.10.2012 г.

Рассматривается монте-карловское моделирование методом индивидуальных соударений, ориентированное на получение прецизионного решения задачи переноса электронов в условиях реальной геометрии с использованием информации о взаимодействии излучения с веществом непосредственно из файлов оценённых ядерных данных. Приводится сравнение результатов расчётов с использованием программного комплекса BRAND и аналогичных программ применительно к задаче радиационной медицины. Проводится сравнительный анализ результатов расчёта с использованием комплекса BRAND до и после распараллеливания с помощью библиотеки программ PARMONC.

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование, перенос электронов, метод Монте-Карло.

УДК 681.518.5

**О методике оптимизации параметров  
динамической модели судовой реакторной установки  
для целей оперативной параметрической диагностики**

*В.А. Болнов, М.А. Большухин, Е.С. Гроздов, Д.С. Невин, М.В. Тараканова, А.Г. Эзекв,*  
ОАО “ОКБМ Африкантов”, 603074, г. Нижний Новгород, Бурнаковский проезд, 15  
Поступила в редакцию 24.12.2012 г.

Предлагается методика оптимизации параметров динамической модели реактора на основе анализа чувствительности модели к изменениям параметров и соответствия данных, получаемых по модели исследуемого объекта, реальному ходу явлений в данном объекте, наблюдаемому на комплексных швартовых испытаниях по показаниям системы измерений.

*Ключевые слова:* параметрическая диагностика, динамическая модель, анализ чувствительности.

УДК 621.039.54

**Перспективные виды топлива для энергетических  
водо-водяных и быстрых реакторов**

*А.А. Прошкин, А.В. Дьяков, А.С. Степанов,*  
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1  
Поступила в редакцию 26.09.2012 г.

Проведен анализ различных вариантов усовершенствования оксидного топлива  $UO_2$ , рассмотрены возможности и целесообразность использования дисперсионного и МОХ топлива в ВВЭР. Для быстрых реакторов выполнен сравнительный анализ преимуществ и недостатков перспективных видов топлива (нитридного и металлического) по сравнению с МОХ топливом. Отмечается, что при соответствующем выборе конструктивных параметров твэлов с нитридным топливом и гелиевым подслоем возможно достижение максимального выгорания топлива 10...12 % тяжёлых атомов. Современный уровень отечественных разработок металлического топлива  $U$  и  $(U + Pu)Zr$  говорит о возможности применения этого топлива в качестве материала зон воспроизводства, а также в виде отдельных вставок в гетерогенных активных зонах быстрых реакторов.

*Ключевые слова:* ВВЭР, быстрые реакторы, оксидное топливо, дисперсионное топливо, МОХ топливо, нитридное топливо, металлическое топливо.

УДК 621.039.54; 543.427.34; 537.53

**Влияние облучения на структуру карбонитридного топлива**

*Д.В. Андреев, А.Б. Гайдученко, А.Г. Домантовский, В.Н. Невзоров, Е.М. Ремиз,*  
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1  
Поступила в редакцию 07.11.2012 г.

Исследованы образцы ядерного топлива  $U-Zr-C-N$ . Время облучения твэла, из которого вырезаны образцы, составило 8 300 часов, после окончания облучения прошло около 30 лет. Методом растровой электронной микроскопии исследована микроструктура образцов топлива. Во всех исследованных образцах чётко выделяются три кольцевые зоны по радиусу таблетки: средняя, внутренняя и внешняя зоны, характеризующиеся различной пористостью; присутствуют как технологические поры (размером 1...5 мкм), так и радиационные (10...20 нм). В телах зёрен обнаружены включения размером 1...2 мкм. Исследована зона зазора между топливом и оболочкой. Зазор между топливом и оболочкой в

процессе облучения не затянулся, составляя в разных местах от 50 до 100 мкм. На внутренней поверхности оболочки присутствует слой переконденсировавшегося топлива толщиной 40...60 мкм в виде столбчатых кристаллов. Методом рентгеноспектрального анализа изучено распределение урана в месте контакта переконденсировавшегося топлива и оболочки.

*Ключевые слова:* ядерная энергодвигательная установка, карбонитридное топливо, рентгеноспектральный анализ, растровая электронная микроскопия.