

УДК 621.039

Моделирование кинетики ядерного реактора методом Монте-Карло

Е.А. Гомин, В.Д. Давиденко, А.С. Зинченко, И.К. Харченко

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

Описывается программа КИР, предназначенная для расчётов кинетики ядерных реакторов методом Монте-Карло. Подробно описан реализованный в программе алгоритм. Приведены результаты расчётов некоторых тестовых вариантов.

Ключевые слова: расчёт, кинетика, ядерный реактор, алгоритм, метод Монте-Карло, суперкомпьютер.

УДК 621.039.17

Характерные особенности MCU-FR

М.И. Гуревич, М.А. Калугин, Д.С. Олейник, Д.А. Шкаровский

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

На базе модулей пакета MCU-6 разработано программное средство MCU-FR. Основным его назначением являются прецизионные расчёты методом Монте-Карло параметров ядерных реакторов с быстрым спектром нейтронов с использованием поточечных сечений из файлов оценённых ядерных данных во всей области энергий. Новое программное средство обладает всеми основными возможностями программ семейства MCU, но имеет и ряд отличительных особенностей, которые описываются в работе.

Ключевые слова: уравнение переноса, программа MCU-FR, метод Монте-Карло, прецизионные расчёты.

УДК 621.030.5

Тестирование программы MCU-FR применительно к расчётам критичности быстрых реакторов

Н.И. Алексеев, М.А. Калугин, А.С. Кулаков, Д.С. Олейник, Д.А. Шкаровский

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

Программа MCU-FR предназначена для проведения прецизионных расчётов методом Монте-Карло параметров ядерных реакторов с быстрым спектром нейтронов. Для проверки точности программы выполнен расчёт 197 бенчмарк экспериментов из Международного банка данных ICSBER с быстрым спектром нейтронов, использующих в качестве топлива высокообогащённый уран, плутоний или их смесь.

Ключевые слова: быстрый ядерный реактор, бенчмарк эксперименты, прецизионный расчёт, метод Монте-Карло, программа MCU-FR, банк данных MDBFR60.

УДК 621.039

***Расчёт тепловыделения в материалах ядерного реактора
методом Монте-Карло***

С.В. Марин, Д.С. Олейник, Е.А. Сухино-Хоменко, Д.А. Шкаровский, М.С. Юдкевич
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Курчатова, 1

Описана методика расчёта пространственного распределения тепловыделения, реализованная в программе MSU расчёта реакторов методом Монте-Карло. Учитывается распад радиоактивных изотопов, накопленных за время работы реактора. Принятая модель описания источников запаздывающего излучения позволяет получить пространственное распределение тепловыделения одновременно с оценкой эффективного коэффициента размножения нейтронов.

Ключевые слова: программа MSU, метод Монте-Карло, реактор, тепловыделение.

УДК 621.039.51

***Конечно-разностные уравнения для распределения нейтронов
и их ценности в трёхмерном гетерогенном реакторе
с неструктурированной сеткой***

А.В. Ельшин

Институт ядерной энергетики (филиал) Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого в г. Сосновый Бор, 188540, г. Сосновый Бор Ленинградской обл., ул. Солнечная, 41

Работа посвящена развитию алгоритмов метода поверхностных гармоник (МПГ) для получения конечно-разностных (алгебраических) уравнений, описывающих поле нейтронов в гетерогенном реакторе. Исходным является уравнение переноса нейтронов. Стадия получения уравнения типа диффузии в дифференциальной форме опускается. При получении уравнений не используются предположения о симметрии элементарных ячеек реактора (допускается нерегулярная сетка) и о возможности описания распределения нейтронов на границах ячеек в диффузионном приближении. На численном примере продемонстрировано, что отказ от диффузионного приближения на границах ячеек существенно улучшает точность решения тестовых задач.

Ключевые слова: МПГ, нерегулярная сетка, распределение нейтронов, ценность нейтронов, конечно-разностные уравнения, отказ от диффузионного приближения.

УДК 621.039.5:519.6

***Обобщённый алгоритм коррекции конечно-разностных уравнений
диффузии в методе Аскью-Такеды***

В.Г. Артёмов, Р.Э. Зинатуллин, Ю.П. Шемаев

ФГУП “НИТИ им. А.П. Александрова”, 188540, г. Сосновый Бор Ленинградской обл.,
Копорское шоссе, 72

Приведен алгоритм коррекции коэффициентов конечно-разностных уравнений диффузии, повышающий точность расчёта на крупной сетке. Уравнения приводятся к виду известного метода дискретизации уравнения диффузии Аскью (Askew's Coarse Mesh Method), но полученные новые выражения для коэффициентов коррекции обеспечивают более высокую точность конечно-разностной аппроксимации.

Ключевые слова: диффузия нейтронов, конечно-разностное уравнение, коррекция для крупной сетки, тестирование, программные средства.

УДК 621.039.5

Результаты исследований при внедрении методики и средств контроля подкритичности бассейнов выдержки ХОЯТ Смоленской АЭС

И.Н. Гераскин, В.Е. Житарев, В.М. Качанов, А.В. Краюшкин, А.Ю. Сергевнин

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

А.В. Кудрявцев, Е.С. Мартазов, В.А. Фёдоров

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

Приводятся результаты исследований, которые получены в ходе внедрения методики контроля подкритичности бассейнов выдержки хранилища отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ) Смоленской АЭС, основанной на проведении импульсного нейтронного эксперимента (α -метод). Методика включает в себя стационарные и нестационарные нейтронно-физические расчёты и измерения основных характеристик подкритической размножающей системы, которую представляет собой бассейн. Приводится описание программного комплекса STEPAN-ХОЯТ, разработанного для расчётного сопровождения импульсного эксперимента. Приведены рассчитанные, определённые экспериментально и оценённые с использованием предложенной методики значения подкритичности ($K_{эф}$) для реальных нагрузок бассейнов выдержки.

Ключевые слова: ХОЯТ РБМК, бассейн выдержки, контроль подкритичности, импульсный нейтронный α -метод, константа спада потока мгновенных нейтронов, нейтронно-физический расчёт, код STEPAN, поле нейтронов.

УДК 621.039.5

Некоторые особенности построения математической модели динамики космической термоэмиссионной ядерной энергоустановки (на примере ЯЭУ “Енисей”)

Н.Е. Кухаркин, В.В. Скорлыгин

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

Описываются основные особенности математической модели, предназначенной для решения задач управления термоэмиссионной ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) космического назначения и сопровождения её эксплуатации. Приводятся основные требования к модели данного класса, и излагается технология её разработки, основанная на имеющейся экспериментальной информации. Особое внимание уделяется отражению специфических особенностей термоэмиссионных ЯЭУ, влияющих на обратные связи и, соответственно, на динамические характеристики. Приводятся оценки точности кода, реализующего математическую модель.

Ключевые слова: ЯЭУ космического назначения, термоэмиссия, математическая модель, переходные процессы, моделирование, управление.

УДК 573.6.011.6

Возможный механизм формирования несмачиваемых “сухих пятен” на обогреваемой поверхности при пузырьковом кипении в большом объёме. Часть II. Режим “Стоп Питательная Вода”

Ю.М. Жуков, Д.С. Уртенев

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

Рассмотрены вопросы моделирования гетерогенного пузырькового кипения на горизонтальной поверхности в большом объёме на восходящей ветви кривой кипения – от момента образования паровой линзы (ПЛн) до кризиса теплоотдачи. Предлагаемая гипотеза позволяет в ряде случаев дать логически непротиворечивую интерпретацию экспериментов и наметить организационный принцип,

переводящий систему стенка-жидкость-пар в режим формирования несмачиваемых “сухих пятен”. Модель включает в себя следующие режимы пузырькового кипения: а) циклический режим с реверсом контактной линии к центру основания пузырька и его отрывом от поверхности (для малых уровней теплового потока q и контактного угла $\theta < 90^\circ$); б) режим перехода одиночного пузырька пара в состояние ПЛн, т.е. в локальный плёночный режим кипения с возможностью распространения единичного “сухого пятна” при изменении контактного угла $\theta \geq 90^\circ$, и при значительном увеличении отрывного диаметра $D_{отр}$ и времени жизни ПЛн ($\tau_{отр}$); в) образование одного парового кластера из 4-х ПЛн при данном давлении, недогреве жидкости и среднем значении перегрева стенки.

Ключевые слова: пузырьковое кипение, плёночный режим кипения, контактный угол, “сухое пятно”, паровой кластер, коалесценция, кризис теплоотдачи.

УДК 621.039

Радиационная деградация графита реакторов типа РБМК

П.А. Платонов, Д.А. Кулешов, И.Ф. Новобратская, В.Ф. Дудинов

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

Проведен анализ экспериментальных результатов исследований влияния реакторного облучения на физико-механические свойства графита. Исследования проводились на образцах, облучённых в исследовательских реакторах, а также на образцах, изготовленных из кернов, отобранных из графитовых кладок действующих РБМК. Можно выделить три этапа деградации графита. Первый характеризуется ростом плотности, прочности и других свойств. Он обусловлен частичным закрытием ориентированной пористости (трещин Мрозовского), образованием радиационных дефектов с образованием вторичной ориентированной пористости вдоль базисных плоскостей (гексагональное направление А). Второй этап, начинающийся вблизи перехода к вторичному набуханию, обусловлен образованием трещин по границам наполнитель-связующее за счёт напряжений растяжения вдоль плоскостей базиса. Третий этап обусловлен образованием мелких трещин по границам отдельных кристаллитов. Оценены напряжения, вызывающие растрескивание, и сроки достижения ими критической величины. Предложена модель, позволяющая выполнить оценки напряжений и деформаций, в том числе с учётом релаксации за счёт ползучести. Показано, что физико-механическое состояние графита кладки в процессе облучения отличается от состояния после облучения.

Ключевые слова: графит, влияние облучения, радиационная деградация, РБМК.

УДК 621.39.46

Способ обогащения регенерата урана в каскаде газовых центрифуг с одновременным снижением содержания изотопов $^{232}, ^{234}, ^{236}\text{U}$

А.Ю. Смирнов, Г.А. Сулаберидзе

НИЯУ “МИФИ”, 115409, Москва, Каширское шоссе, 31,

А.А. Дудников, В.А. Невиница

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

Показана возможность обогащения регенерированного урана в каскаде газовых центрифуг, который имеет три потока питания (отвальный уран, низкообогащённый уран, регенерат), с одновременным разбавлением изотопов $^{232}, ^{234}, ^{236}\text{U}$. Вычислительные эксперименты проведены для различного содержания ^{235}U в низкообогащённом сырье. Продемонстрировано, что выбранная комбинация разбавителей позволяет одновременно снизить затраты работы разделения и расход природного сырья, что в свою очередь обеспечивает снижение удельных затрат не только по отношению к ранее используемым многопоточным схемам каскадов, но и по отношению к штатному каскаду для обогащения природного урана.

Ключевые слова: регенерированный уран, разделение изотопов, разделительный каскад.