

УДК 621.039.51

Роль эффектов реактивности в Чернобыльской аварии

И.А. Базулин, А.М. Федосов,

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

В статье рассматривается влияние положительных эффектов реактивности при введении стержней регулирования, парового эффекта, эффекта обезвоживания контура СУЗ, температурного графитового эффекта, эффекта выжигания ^{135}Xe на развитие аварии на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС.

Показано, что только совокупное воздействие положительных эффектов реактивности может объяснить катастрофические масштабы аварии, испарение топлива и диспергирование графита.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, РБМК, эффекты реактивности.

EDN: AQDVEB

УДК 621.039.56

Исследование колебаний энергии импульсов реактора ИБР-2М с использованием метода базисных элементов

Ю.Н. Пепельшев, Н.Д. Дикусар, Ц. Цогтсайхан, Д. Сумхуу,

Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Московская обл.,
ул. Жолио-Кюри, д. 6

Проведено исследование динамики спектральной структуры шумов энергии импульсов реактора ИБР-2М с выделением базовой структуры резонансного типа с помощью метода базисных элементов. Поведение резонансной компоненты шумов в зависимости от мощности и времени работы реактора показало совпадение с результатами параллельных модельных исследований динамики реактора. Показано совпадение базовой резонансной компоненты шумов с пиком на частоте 0,1 Гц с резонансом в амплитудно-частотной характеристике реактора ИБР-2М. Этот факт ещё раз подтверждает полноту и точность оценки динамических свойств реактора с помощью используемой модели динамики и методов анализа реакторных шумов, а также применимость модели динамики и метода базисных элементов к анализу текущего состояния реактора и оценке прогноза его состояния.

Ключевые слова: ИБР-2М, шумы энергии импульсов, метод базисных элементов, базовая линия, МБЭ-многочлены.

EDN: DINQJE

УДК 621.039; 621.039.524.2.034.3

Расчётное моделирование процедуры физического пуска реактора ВТГР

А.В. Гроль, А.С. Лапин, В.А. Невиница, П.А. Фомиченко, В.Ф. Шикалов,

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

М.В. Щуровская,

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

НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31,

В.П. Алферов,

НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31,

Описаны расчётные исследования для обоснования процедуры физического пуска реактора ВТГР. Выбрана последовательность загрузки ТВС в активную зону и определена минимальная критическая

загрузка. Получены расчётные оценки показаний пусковых детекторов нейтронов на разных стадиях загрузки. Рассчитана эффективность рабочих органов СУЗ для первой критической загрузки и полной загрузки активной зоны. Обоснован выбор параметров пускового радиоизотопного источника нейтронов и детекторов нейтронов, используемых при пусковых процедурах. Расчёты проведены с использованием полномасштабной трёхмерной модели активной зоны для кода MCU-HTR, основанного на методе Монте-Карло.

Ключевые слова: высокотемпературный газоохлаждаемый реактор, нейтронно-физические расчёты, метод Монте-Карло, физический пуск реактора.

EDN: ENYUTR

УДК 621.039.46

Проблемы валидации нейтронно-физических программ расчёта ВТГР на примере расчёта экспериментальных бенчмарков HTTR и VHTRC

Я.А. Котов, В.А. Невиница, В.Ф. Бояринов, А.В. Гроль, П.А. Фомиченко,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,
С.Е. Сорокин, Г.С. Филиппов,
АО “ОКБМ Африкантов”, 603074, Нижний Новгород, Бурнаковский пр., д. 15

С целью валидации инженерной программы для ЭВМ JAR-HTGR, созданной в НИЦ “Курчатовский институт” и используемой для обоснования нейтронно-физических характеристик проекта разрабатываемого АО “ОКБМ Африкантов” высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР) с блочной активной зоной, было выполнено расчётное моделирование экспериментов, которые проводились в ходе пуска исследовательского высокотемпературного реактора HTTR. В этих экспериментах определялись такие характеристики, как критичность, запас реактивности, эффективность СУЗ, аксиальные распределения скорости реакции деления и температурный эффект реактивности. Выполнен анализ измерений температурного коэффициента реактивности и показано, что описание получения ряда экспериментальных значений не содержит относящихся к ним указаний на положение РО СУЗ по высоте, и поэтому из шести доступных результатов измерений только два могут быть интерпретированы как изменения реактивности, вызванные изменением температуры реактора, компенсированные соответствующим перемещением органа СУЗ и отнесённые к соответствующей разнице температур. Остальные случаи содержат искусственно внесённые авторами бенчмарка поправки к эффективности органов СУЗ, сопоставимые с результатом измерения их эффективности.

Результаты расчёта реактора HTTR в части моделирования экспериментов по измерению температурных коэффициентов реактивности дополнены анализом экспериментов на сборке стенда VHTRC.

Ключевые слова: ВТГР, реактор HTTR, критический стенд VHTRC, аксиальные распределения, трёхмерные расчётные модели, нейтронно-физические расчёты, валидация программ для ЭВМ.

EDN: FBODCJ

УДК 621.039.514

Расчёт нестационарных процессов с обратными связями с использованием пакета программ САПФИР

А.А. Панченко, Г.А. Авраменко,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

В статье представлены результаты расчёта нестационарного теста TMI-1 Mini core с использованием программ пакета САПФИР и расчётного кода КОРСАР, предназначенного для моделирования теплогидравлических процессов. Результаты расчёта сравниваются с результатами, полученными по программе TRIPOLI-4.

Ключевые слова: пространственная нейтронная кинетика, метод Монте-Карло, обратные связи, TMI-1 Mini core.

EDN: GPBICH

Алгоритмы моделирования нестационарных функционалов и их погрешностей методом Монте-Карло

**В.И. Белоусов, М.И. Гуревич, В.Д. Давиденко, И.И. Дьячков, М.В. Иоаннисиан,
К.Ф. Раскач,**

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

В статье представлено описание реализованных в программе КИР-С алгоритмов расчёта нестационарных функционалов и их дисперсий при моделировании переноса нейтронов методом Монте-Карло. В программе реализован классический метод Монте-Карло при моделировании случайного процесса формирования траектории частицы в виде марковской цепи с размножением и ветвлением. Для верификации созданных методик использовалась модель однородной бесконечной среды, в которой моделируется выход в критическое состояние от точечного источника мгновенных нейтронов. В качестве реперного использовалось решение, полученное методом точечной кинетики. Полученные по программе КИР-С результаты согласуются с реперными. Проанализирована сходимость функционалов и их статистических погрешностей с увеличением количества историй. Как и следует из определения средней квадратичной погрешности, расчёты показали, что при увеличении числа историй нейтронов в n раз значение отклонений в среднем уменьшается в $\sqrt{n}$ раз.

Ключевые слова: перенос нейтронов, программа КИР-С, метод Монте-Карло, моделирование стационарных и нестационарных процессов, погрешность, нестационарный функционал, нейтронная кинетика.

EDN: JYJEPH

Программа для многопараметрической аппроксимации ядерных констант с квазислучайным распределением узлов расчётной сетки и автоматическим отбором коэффициентов

А.С. Мязин, И.А. Базулин,

НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,
НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31,

В.И. Савандер,

НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31

В статье приводится описание программного комплекса CINDER, разработанного для генерации библиотек групповых ядерных констант, а также методологической базы, заложенной в основу каждого блока программного комплекса. Блок описания функциональных зависимостей при помощи набора инструментов Python осуществляет последовательные процедуры аппроксимации и регрессии. Реализованы разнообразные способы задания сетки многомерного пространства параметров состояния модели. Построена модель полиачейки канального уран-графитового реактора для наработки радиоактивных изотопов. Проведены тестовые расчёты по программе CHARM, которые подтвердили высокое качество сгенерированной библиотеки нейтронно-физических групповых констант путём сравнения величин коэффициентов реактивности и коэффициента размножения нейтронов K_∞ .

Ключевые слова: последовательность Соболя, библиотека ядерных констант, OpenMC, CHARM, программы для ЭВМ.

EDN: KDN0GA

Методический анализ экспериментов на одиночном канале критического стенда

А.М. Дегтярев, Ю.И. Зорин, А.А. Иванов, М.А. Калугин,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

В статье приведён расчётно-методический анализ результатов модельных экспериментов на одиночном канале критического стенда с загрузкой типа РБМК. Показано, что результаты эксперимента могут иметь значительную зависимость от конкретной загрузки самого стенда. Для практической интерпретации получаемых экспериментальных данных необходимо привлечение расчётов с использованием прецизионных кодов.

Ключевые слова: критический стенд, одиночный канал, расчёт, интерпретация результатов.

EDN: KESLEN

Глубокое выгорание родиевого ДПЗ

А.Ю. Курченков, А.М. Мусихин, М.А. Расчетнова,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

В статье приведены результаты расчётов функций учёта выгорания родиевого ДПЗ СВРК ВВЭР. Описана краткая история развития этого важного для СВРК вопроса. Определяются основные для этих функций характеристики, позволяющие в дальнейшем использовать ДПЗ до глубоких выгораний. Подчёркивается, что расчётные исследования должны быть подтверждены экспериментами с сильно выгоревшими и свежими ДПЗ с известным протёкшим зарядом при одинаковых условиях облучения.

Ключевые слова: детектор прямого заряда (ДПЗ), выгорание ДПЗ, система внутрореакторного контроля (СВРК), ВВЭР, линия связи, фоновый ток, индивидуально-технические характеристики (ИТХ) ДПЗ.

EDN: LHMTGC

Оценка погрешности расчёта скорости накопления флюенса нейтронов, обусловленной неопределённостью задания источника

Л.В. Кравчук, В.Н. Кочкин, П.П. Панфёров, А-р.А. Решетников, А.М. Тимофеев,
Д.Ю. Махотин,

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

В статье представлены результаты оценки погрешности расчёта скорости накопления флюенса (СНФ), обусловленной неопределённостью задания источника нейтронов в активной зоне реакторов типа ВВЭР. На основании сравнения результатов расчётов с экспериментальными данными получены оценки систематической и случайной составляющих данной погрешности. Расчёты параметров нейтронных полей выполнялись с помощью программы КАТРИН. Показано, что погрешность расчёта СНФ, обусловленная неопределённостью задания источника, имеет несущественную систематическую составляющую. Получены количественные оценки погрешности расчёта СНФ для различных пространственных областей корпуса реактора ВВЭР-1000, максимальная из которых составила 8%, что ниже применяемого в настоящее время значения 15%.

Ключевые слова: расчёт переноса нейтронов, флюенс нейтронов, скорость накопления флюенса нейтронов, погрешность расчёта, неопределённость источника нейтронов, ВВЭР, корпус реактора, нейтронно-активационные измерения, КАТРИН.

EDN: MARZLA

УДК 621.039

Разработка модели энергоблока АЭС средней мощности для исследования маневренных характеристик энергоблока

О.Ю. Кавун, М.А. Увакин,

АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,

В.В. Семишин,

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-ая Бауманская, д. 5, стр. 1

В статье представлена модель динамики энергоблока средней мощности, созданная на базе программного комплекса Радуга-ЭУ и предназначенная для исследования режимов маневрирования мощностью энергоблока. Приведён пример моделирования режима глубокого манёвра мощностью.

Ключевые слова: энергоблок средней мощности, ВВЭР, моделирование манёвра мощностью.

EDN: QKNUTK

УДК 621.039.553

Разработка конструкции облучательного устройства для проведения ускоренных внутриреакторных испытаний конструкционных материалов ВВЭР-СКД в реакторе СМ-3

А.Л. Ижutow, В.С. Моисеев, Н.К. Калинина, Н.Ю. Марихин, Д.С. Моисеев,

АО “ГНЦ НИИАР”, 433510, Дмитровград, Ульяновская обл., Западное ш., д. 9

Для разработки водо-водяного энергетического реактора нового поколения со сверхкритическими параметрами давления (ВВЭР-СКД) актуальной задачей является изучение поведения кандидатных конструкционных материалов для активной зоны под воздействием нейтронного облучения. Повышение требований к безопасности атомной электростанции (АЭС) обуславливает необходимость проведения ускоренных внутриреакторных испытаний, направленных на оценку изменений прочностных и пластических свойств материалов, а также процессов радиационного распухания. В качестве экспериментальной базы выбран исследовательский реактор СМ-3, обладающий высокой плотностью потока нейтронов и оснащённый комплексом установок для контроля температуры, химического режима и мониторинга параметров облучения. В статье представлен эскиз плоских образцов из кандидатных материалов, а также предложена конструкция облучательного устройства (ОУ), предназначенного для размещения в активной зоне реактора СМ-3. Результаты проведённых расчётных исследований показали, что температура плоских образцов во время проведения внутриреакторных испытаний находится в диапазоне 478 ± 76 °С. Значение плотности потока быстрых нейтронов на поверхности образцов $(5,90—17,8)10^{14}$ см⁻²·с⁻¹. Проведение ускоренных внутриреакторных испытаний плоских образцов в разработанной конструкции ОУ позволит получить комплексные данные о поведении материалов ВВЭР-СКД в условиях интенсивного нейтронного облучения, что способствует повышению надёжности и безопасности эксплуатации реакторов нового поколения.

Ключевые слова: облучательное устройство, теплофизические расчёты, реактор СМ-3, ВВЭР-СКД, внутриреакторные испытания.

EDN: TUDSMV

УДК 621.039.564.5

Опыт создания и внедрения современных акустических систем контроля течи теплоносителя трубопроводов и оборудования реакторных установок ВВЭР

*П.А. Дворников, А.А. Кудряев, А.Н. Молявкин, В.Н. Замиусский, А.А. Савинов,
А.А. Бударин, С.С. Шутлов, П.С. Шутлов, А.В. Бурляев, В.В. Шешукова,*

Акционерное общество “Научно-технический центр “Диапром” (АО “НТЦД”),
111020, Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Лефортово, ул. 2-я Синичкина, д. 9А, стр. 3

И.А. Чусов,

АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

В статье рассмотрены вопросы создания, обеспечения качества и внедрения современных систем акустического контроля течи (САКТ) теплоносителя трубопроводов и оборудования реакторных установок (РУ) ВВЭР. Показано, что созданный с использованием новых научно-технических решений комплекс технических средств САКТ РУ ВВЭР удовлетворяет современным требованиям концепции “течь перед разрушением”, требованиям обеспечения качества при его изготовлении и внедрении, требованиям обеспечения работоспособности в условиях внешних воздействующих факторов, характерных для АЭС, что позволяет обеспечить надёжную и безопасную эксплуатацию АЭС.

Ключевые слова: контроль течи теплоносителя, трубопровод, оборудование, датчик акустический, комплекс технических средств, концепция “течь перед разрушением”, усилительно-преобразовательные модули, система, реакторные установки.

EDN: UOUNIL

УДК 621.039.586

Обзор отечественных и зарубежных работ по динамике внутрикорпусных устройств ВВЭР при разрывах трубопроводов

А.М. Баисов,

НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31,
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,

Д.А. Посысаев,

АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21,

Н.Н. Папутин,

НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31

В статье представлены результаты отечественных и зарубежных экспериментальных работ по изучению гидродинамических воздействий на внутрикорпусные устройства, выполненных на крупномасштабных моделях водо-водяных реакторов под давлением при разрывах трубопроводов. Изложены основные подходы, учитывающие взаимодействие теплоносителя со стенками конструкций, при обосновании прочности внутрикорпусных устройств с использованием результатов теплогидравлических расчётов. Сформирована матрица валидации и обозначена необходимость проведения аналогичных экспериментов для охвата текущих диапазонов давлений и температур, характерных для современных проектов реакторных установок с водяным теплоносителем.

Ключевые слова: гидродинамические воздействия, разрыв трубопроводов, критическое истечение, внутрикорпусные устройства, ВВЭР, экспериментальные стенды.

EDN: WGZXKK