

Шестьдесят лет без Курчатова

А.Ю. Гагаринский, Н.Е. Кухаркин, В.А. Сидоренко,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

УДК 621.039.31.17

Анализ ковариационных данных для урана-235

Г.М. Жердев, Т.С. Кислицына, М.Н. Николаев,
АО “ГНЦ РФ — ФЭИ” им. А.И. Лейпунского, 249033, г. Обнинск, Калужская обл.,
пл. Бондаренко, д. 1

Неточности нейтронных данных и взаимосвязи между ними — ковариации — необходимы как для оценки погрешностей нейтронно-физических характеристик реакторов и защиты, так и для снижения этих погрешностей до приемлемого уровня путём корректировки на основе анализа результатов интегральных экспериментов. Современная информация о неточностях нейтронных данных содержится в трёх относительно независимых библиотеках оцененных нейтронных данных: американской ENDF/B-VII, японской JENDL-4.0 и российской БРОНД-3.1. В настоящей статье выполнено сравнение ковариационных данных из этих библиотек для наиболее изученного топливного материала — урана-235 — как между собой, так и с разбросом оцененных сечений, рекомендованных в названных библиотеках. Выявлено, что в области быстрых нейтронов погрешности, приписанные таким важным характеристикам, как число вторичных нейтронов деления и сечение деления, сравнимы по величине с разбросом оцененных значений этих характеристик. Поскольку оценки нейтронных данных во всех библиотеках основываются практически на одном и том же наборе результатов экспериментов, лишь по-разному усреднённых, это свидетельствует о том, что приписанные им погрешности чрезмерно оптимистичны. Выявлено также, что во всех рассмотренных данных грубо нарушается баланс погрешностей, приписываемых полному сечению и его составляющим — парциальным сечениям. Предложена методика корректировки данных, устраняющая отмеченную противоречивость. Пересмотр касается погрешностей составляющих сечения рассеяния — упругого, неупругого, реакции ($n, 2n$) — и приводит к снижению погрешностей, приписываемых сечениям этих реакций. Предложенная методика может быть использована для корректировки ковариационных данных и для иных реакторных материалов.

Ключевые слова: погрешности, ковариации, корреляции, нейтронные данные, нейтронные сечения, библиотека оцененных нейтронных данных, корректировка нейтронных сечений.

УДК 519.622

Метод линейного возмущения оператора при решении задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка большой размерности с применением параллельных вычислений

А.В. Моряков,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1

Представлен метод решения задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка большой размерности с возможностью применения параллельных вычислений. Даны оценки параметров, обеспечивающих оптимизацию итерационного процесса. К достоинствам метода можно отнести его простоту и возможность решения нелинейных задач с поправкой оператора с учётом решения, полученного в итерационном процессе, а также возможность использования параллельных вычислений в процессе получения решения.

Ключевые слова: задача Коши, алгоритм, итерационный процесс, система уравнений, решение, параметр, вектор-функция, параллельные вычисления.

УДК 519.622

Метод “лавины” численного решения задачи Коши для систем обыкновенных линейных дифференциальных уравнений

А.В. Моряков,

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

Представлен алгоритм решения задачи Коши для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений. Предложенный алгоритм для систем первого порядка реализован в программе AVALANCHE. К особенностям алгоритма можно отнести возможность находить решение задачи с необходимой, заранее заданной точностью для больших отрезков времени, а также возможность использования параллельных вычислений для расчёта обратного оператора в процессе получения решения.

Ключевые слова: задача Коши, алгоритм, программа, система уравнений, решение, обратный оператор, вектор.

УДК 519.622

Замечания к статье А.В. Морякова “Метод “лавины” численного решения задачи Коши для систем обыкновенных линейных дифференциальных уравнений”

М.И. Гуревич,

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

Предложенный А.В. Моряковым алгоритм решения задачи Коши для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений [1] имеет под собой математическую основу достаточно общего вида, которая излагается в данной статье. Из этого видно, что метод Морякова может быть употреблён для более широкого класса правых частей.

Ключевые слова: задача Коши, алгоритм, программа, система уравнений, решение, фазовый поток, однопараметрическая группа.

УДК 621.039.5

Расчёт параметров нейтронной кинетики для двумерных тестов международного бенчмарка C5G7-TD по программе SUHAM-TD

В.Ф. Бояринов, П.А. Фомиченко,

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

Международный бенчмарк C5G7-TD разрабатывается для кросс-верификации расчётов пространственной нейтронной кинетики по программам, не использующим метод гомогенизации и диффузионное приближение. В спецификации бенчмарка C5G7-TD, кроме пространственного распределения энерговыделения, предлагается проводить сравнение зависящих от времени параметров нейтронной кинетики, рассчитанных по разным программам, а именно реактивности, доли запаздывающих нейтронов и времени жизни мгновенных нейтронов. В статье представлены расчёты параметров нейтронной кинетики по комплексу программ SUHAM-TD, выполненные по разным формулам. Исследовано влияние на результаты расчёта параметров нейтронной кинетики использования в качестве сопряжённой функции плоской функции. Поскольку все тесты бенчмарка C5G7-TD являются “слепыми”, в работе отсутствуют результаты сравнения с расчётами по другим программам.

Ключевые слова: метод поверхностных гармоник, уравнение переноса нейтронов, программа SUHAM-TD, бенчмарк C5G7-TD, параметры нейтронной кинетики.

УДК 621.039

**Оценка эффективности системы внутриреакторного контроля потока нейтронов
в активной зоне реактора на быстрых нейтронах**

В.Н. Васекин, С.П. Падун,

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

Рассмотрена методика расчётной оценки эффективности системы внутриреакторного контроля (СВРК) потока нейтронов в активной зоне ядерного реактора. Представлены результаты расчётной оценки эффективности СВРК в отношении контроля нейтронной мощности в штатных переходных и аварийных режимах при различном количестве и расположении нейтронных датчиков в активной зоне быстрого реактора.

Ключевые слова: нейтронная мощность, реактивность, СВРК, эффективность, методика расчётной оценки, динамические процессы, запаздывающие нейтроны, обратные связи.

УДК 621.039

**Адаптация программы СТАРТ4 для расчёта быстрых нестационарных процессов
в исследовательском реакторе**

А.О. Гольцев, В.Д. Давиденко,

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

В.А. Бахтин, А.С. Колганов,

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4

В статье приведены результаты расчётных исследований нестационарных процессов без обратных связей в исследовательском реакторе. Полученные результаты показывают большую степень неопределённости рассчитываемых функционалов в зависимости от параметров временной, пространственной и энергетической сеток. Дано краткое описание параллельной версии программы СТАРТ4.

Ключевые слова: запроектные аварии, разгон на мгновенных нейтронах, многогрупповое диффузионное приближение, R - Z -геометрия, параллельные вычисления.

УДК 621.039.5

Методика определения времени до выхода на МКУ для ВВЭР

А.И. Аль-Шамайлех, Д.А. Соловьев, А.А. Семенов, Н.В. Шукин, Б. Джарум, Х.А. Танаи,
НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31

Выход реактора на минимальный контролируемый уровень (МКУ) мощности является одной из наиболее ядерно-опасных операций при эксплуатации. В настоящее время на АЭС с ВВЭР используются программы нейтронно-физических расчётов, такие как имитатор реактора (ИР) и БИПР-7А. Эти программы производят расчёт критической концентрации борной кислоты без опоры на данные боковых ионизационных камер (ИК), в результате чего могут возникать неточности в определении критической концентрации. Кроме того, подпитку первого контура чистым конденсатом необходимо прекратить не менее чем за 15 мин до достижения МКУ, а эти программы не производят расчёт времени до выхода в критическое состояние. Разработана программа, которая предсказывает время до выхода в критическое состояние и критическую концентрацию борной кислоты только по показаниям измерительной аппаратуры без опоры на сторонний расчёт.

Ключевые слова: ВВЭР-1000, МКУ, ИР, БИПР-7А.

УДК 621.039.5

Диагностика уменьшения проходного сечения (засорения) водяных коммуникаций ТК РБМК-1000

О.В. Глазков, Н.В. Шукин, А.А. Семенов, Д.А. Соловьев, А.А. Дружаев,
НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское ш., д. 31

Обеспечение безопасности и надёжности эксплуатации реакторных установок (РУ) требует проведения непрерывной диагностики их состояния и программных средств поддержки эксплуатации для выявления возможных или случившихся неисправностей (ошибок) на стадии, когда возможно быстрое и лёгкое устранение причины неисправности с минимальным ущербом. Для данных целей была разработана система расчётно-экспериментальной диагностики состояния РУ РБМК-1000 ECRAN 3D (Experimental & Computational Reactor ANalysis). Однако базовый алгоритм диагностики системы ECRAN 3D, основанный на использовании коротких временных очередей без учёта истории, не позволяет проводить диагностику медленно протекающих процессов, таких как уменьшение проходных сечений водяных коммуникаций топливного канала (ТК), которые возможны при эксплуатации РУ. Для решения данной проблемы был разработан новый алгоритм диагностирования на основе машинного обучения с учётом истории изменения теплогидравлических параметров РУ.

Ключевые слова: диагностика, РБМК-1000, засорение водяных коммуникаций ТК, система ECRAN 3D.

УДК 621.039.5

Сравнительные параметры газоохлаждаемых реакторов космического назначения с диоксидным и карбонитридным топливом

А.С. Каминский, Т.А. Турбина, Э.Г. Гордеев, В.А. Павшук,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Рассмотрена конструктивная схема высокотемпературного газоохлаждаемого реактора космического назначения на основе карбонитридного топлива. Предложена композиция реактора модульного типа, что оказывается возможным за счёт значительно большего коэффициента теплопроводности карбонитридного топлива по сравнению с топливом из диоксида урана. Определены возможные размеры модуля твэла. Исследованы нейтронно-физические характеристики реактора с модульной структурой активной зоны и выполнено их сравнение с характеристиками реактора с моноблочной структурой активной зоны.

Ключевые слова: реактор космического назначения, карбонитридное топливо, модульная структура активной зоны, безопасность.

УДК 621.039.531

Анализ охрупчивания материалов корпусов ВВЭР-440 при облучении до высоких флюенсов

А.А. Чернобаева, Д.Ю. Ерак, К.И. Медведев,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Представлены результаты анализа данных по исследованию радиационного охрупчивания металла сварных швов ВВЭР-440 (изменение свойств, микроструктуры и состава твёрдого раствора). Рассмотрена база данных по радиационному охрупчиванию материалов корпусов ВВЭР-440 в каналах для образцов-свидетелей, описаны принципы анализа базы данных. Выявлено влияние химических элементов на радиационное охрупчивание в разных диапазонах флюенсов быстрых нейтронов. Предложена зависимость содержания меди в твёрдом растворе от накопленного флюенса быстрых нейтронов. Результатом работы является аналитическая модель радиационного охрупчивания металла сварных швов корпусов реакторов ВВЭР-440, учитывающая особенности радиационного охрупчивания в разных диапазонах флюенсов быстрых нейтронов и микроструктурные изменения материала

лов. Предлагаемая модель хорошо описывает экспериментальные значения и применима для широкого диапазона содержания меди и фосфора в составе металла сварного шва.

Ключевые слова: металл сварного шва, радиационное охрупчивание, критическая температура хрупкости, сдвиг критической температуры хрупкости, материалы корпусов ВВЭР-440, радиационно индуцированные преципитаты, содержание меди в твёрдом растворе, флюенс быстрых нейтронов, механизм охрупчивания.

УДК 621.039.76

О перечне нормируемых и контролируемых радионуклидов в атмосферных выбросах АЭС

А.-Н.В. Вуколова, А.А. Русинкевич,

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

Задача обоснованного сокращения перечня нормируемых и контролируемых радионуклидов в атмосферных выбросах АЭС является одной из наиболее приоритетных в области регулирования загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду. В настоящей статье описан один из возможных подходов к решению описанной задачи, основанный на анализе данных многолетних наблюдений газоаэрозольных выбросов европейских АЭС с РУ ВВЭР и PWR. Сформированы и проанализированы Перечень 1, включающий 63 нормируемых и контролируемых радионуклида в выбросах европейских АЭС советского дизайна с РУ ВВЭР, и Перечень 2, включающий 82 радионуклида, регистрируемых в выбросах европейских АЭС с РУ PWR.

Ключевые слова: АЭС, ВВЭР, PWR, радионуклиды, атмосферные выбросы, окружающая среда.

УДК 621.039.31

Анализ влияния ограничений по изотомам ²³²U, ²³⁴U, ²³⁶U в товарном НОУ на выбор способов обогащения регенерата урана в каскадах центрифуг

А.Ю. Смирнов,

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

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

В.Е. Гусев, Г.А. Сулаберидзе,

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

В.А. Невиница, П.А. Фомиченко,

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

Рассмотрены проблемы повторного обогащения регенерата урана. Показано, что в наиболее общей постановке задача обогащения регенерата урана с одновременным выполнением требований к содержанию чётных изотопов и условий расходования на производство единицы массы продукта заданного количества исходного регенерата не может быть решена в трёхпоточном каскаде центрифуг или простейших вариантах двойных каскадов.

Продемонстрирована возможность решения поставленной задачи в модифицированной двойной каскадной схеме с подмешиванием НОУ-разбавителя. Результаты вычислительных экспериментов показали, что в исследуемом варианте двойного каскада возможно получить НОУ товарного качества, израсходовав заданное количество регенерата при различных ограничениях на концентрацию ²³²U в продукте, в том числе даже более строгих, чем принятые в настоящее время на разделительных производствах.

Ключевые слова: регенерированный уран, разделение изотопов, разделительный каскад, замыкание ЯТЦ, двойной каскад, обогащение урана, рецикл урана.