УДК 539.12

**Поток и спектр антинейтрино реактора на быстрых нейтронах БН-800
со смешанной загрузкой**

*В.И. Белоусов¹, В.А. Вакуленко², И.Н. Жутиков^{1,2}, М.В. Иоаннисиан¹,
Е.А. Литвинович^{1,2}, Д.В. Попов^{1,2}, К.Ф. Раскач¹, М.Д. Скорохватов^{1,2}*

¹НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1,
²НИЯУ МИФИ, 115409, Москва, Каширское шоссе, д. 31

Выполнен расчёт потока и энергетического спектра антинейтрино в динамике для реактора на быстрых нейтронах со смешанной загрузкой активной зоны (16% МОКС-топлива). Кампания реактора БН-800 была смоделирована с использованием программного комплекса КИР. Полученные результаты демонстрируют сходство с потоком и спектром антинейтрино реакторов на тепловых нейтронах. Наибольшие различия заметны на краю спектра, где разница в потоках между БН-800 и ВВЭР-1000 достигает 20%. Падение потока антинейтрино, связанное с выгоранием топлива на протяжении топливной кампании, в БН-800 выражено слабее, чем в реакторе на тепловых нейтронах ВВЭР-1000.

Ключевые слова: антинейтрино, спектр антинейтрино, реактор на быстрых нейтронах, БН-800, реактор на тепловых нейтронах, ВВЭР-1000.

EDN: VVAUNZ

УДК 539.125.523.43

**Модификация программы CHARM для моделирования переноса
γ-излучения с анизотропным источником рассеяния**

И.А. Базулин,

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

В статье описана модификация программы CHARM для моделирования переноса γ-излучения с анизотропным источником рассеяния. Приведено краткое описание процессов взаимодействия фотонов с веществом, заложенных в представленную математическую модель. Приведены результаты расчётов модельных задач и выполнен их анализ.

Ключевые слова: перенос фотонов, радиационная безопасность, программы для ЭВМ.

EDN: VVHDOZ

УДК 621.039.586

**Метод комбинирования корреляций критического теплового потока
ОКБ “ГИДРОПРЕСС” и НИКИЭТ для расчёта минимального запаса
до кризиса теплообмена в реактивных авариях (RIA) РУ с ВВЭР**

А.А. Галиев, П.В. Гордиенко, Б.Е. Шумский, А.В. Коцарев, В.В. Егоров,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Выполнено сравнение корреляций критического теплового потока (КТП) ОКБ “ГИДРОПРЕСС” (корреляция Безрукова Ю.А.) и НИКИЭТ (корреляция Смолина В.Н.). Рассмотрены возможные методы комбинирования двух корреляций КТП при анализе переходных режимов. Проведены серии вариантных расчётов характерных режимов реактивных аварий (RIA) для РУ с ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 с определением минимального запаса до кризиса теплообмена (DNBR) “методом минимума” комбинирования корреляций. На основании результатов расчётов сделаны выводы о применимости “метода минимума” комбинирования корреляций критического теплового потока ОКБ “ГИДРОПРЕСС” и НИКИЭТ для расчёта минимального DNBR в RIA РУ с ВВЭР.

Ключевые слова: критический тепловой поток, корреляция ОКБ “ГИДРОПРЕСС” (корреляция Безрукова Ю.А.), корреляция НИКИЭТ (корреляция Смолина В.Н.), реактивные аварии (RIA), ВВЭР, минимальный запас до кризиса теплообмена, комбинирование корреляций, “метод минимума”.

EDN: NVZIVX

УДК 621.039.50

Анализ нейтронно-физических характеристик топливных циклов ВВЭР-1200 при многократном рециклировании урана

*К.Ю. Куракин, В.А. Невиница, А.М. Павловичев, Е.Я. Прошкина, А.Ю. Смирнов,
М.А. Сумароков, В.М. Цветков,*

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

В статье рассматриваются вопросы многократного рециклирования регенерированного урана в реакторе ВВЭР-1200. Разработана расчётная модель, с помощью которой оценены интегральные характеристики топливных циклов (расход природного урана, количество использованного регенерата и др.) при многократном рециклировании. Для проектной 18-месячной топливной загрузки выполнены полномасштабные расчёты нейтронно-физических характеристик топливных загрузок, сформированных в процессе последовательных рециклов урана.

Ключевые слова: регенерированное урановое топливо, ВВЭР-1200, изотопы урана, ТВС, многократное рециклирование, нейтронно-физические характеристики.

EDN: JKQNUK

УДК 621.039.56

Применение алгоритма маневрирования MSHIM для РУ ВВЭР большой мощности

Г.А. Рябов, М.В. Антипов, А.Л. Николаев, М.А. Увакин, И.В. Махин, К.В. Бозриков,
АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”, 142103, Подольск, Московская обл., ул. Орджоникидзе, д. 21

В статье изучается проблема автоматизации режимов следования за нагрузкой при работе реакторной установки (РУ) ВВЭР в гибких энергетических системах. Рассматриваются возможные пути адаптации алгоритма маневрирования MSHIM, который используется в проекте “AP1000”, к проекту “АЭС-2006. К достоинствам метода относятся автоматизация процесса маневрирования и отказ от операций водообмена. По результатам проведённых расчётов сделаны заключения о применении алгоритма MSHIM, ограничения и условия его успешного использования в проекте “АЭС-2006”.

Ключевые слова: режимы следования за нагрузкой, проект “АЭС-2006”, алгоритмы маневрирования, аксиальный офсет, пространственная кинетика, код КОРСАР/ГП.

EDN: ТОНСЗУ

УДК 621.039.51

Моделирование запроектных аварий с обезвоживанием бассейна выдержки отработавшего топлива РБМК

А.М. Осипов, В.В. Поляков, А.М. Федосов,

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

В статье представлены результаты анализа температурных режимов приреакторного бассейна выдержки отработавшего топлива РБМК в условиях аварии с длительной потерей его охлаждения и полным обезвоживанием вследствие экстремальных внешних или внутренних воздействий, повлекших также и полное обесточивание энергоблока. Определено время достижения критериев приемлемости по температуре оболочек твэлов и температуре бетонных стен бассейна выдержки. Рассмотрено применение мобильной аварийной техники в условиях такой аварии.

Ключевые слова: бассейн выдержки отработавшего топлива, обезвоживание, температурный режим, авария с полным обесточиванием, критерии приемлемости, противоаварийная мобильная техника.

EDN: EIVANF

УДК 629.039.58

Химические формы йода в теплоносителе первого контура ВВЭР и в приемке защитной оболочки при аварии ЛОСА

А.Б. Сазонов, В.А. Грачев, О.С. Быстрова, К.Д. Хорошилова,

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

Представлена математическая модель, описывающая радиационно-химические превращения соединений йода в растворах, состав которых соответствует теплоносителю первого контура ВВЭР и жидкости в аварийном приемке. В результате моделирования показано, что в теплоносителе ВВЭР при работе на мощности единственной химической формой йода является йодид-ион. Поэтому при аварии с течью теплоносителя йод будет поступать в пространство защитной оболочки в форме аэрозоля. В аэрозольных частицах под действием излучения йодид претерпевает быстрое окисление до летучих химических форм. Скорость образования летучего йода пропорциональна мощности дозы и не зависит ни от концентрации йодида, ни от размеров частиц аэрозоля вплоть до 100 мкм. Из частиц аэрозоля в газ переходит, главным образом, атомарный йод, рекомбинирующий с другими радикалами и образующий I_2 , CH_3I и прочие молекулярные формы. Согласно полученным результатам, аварийный выброс йода на энергоблоке с ВВЭР будет определяться эффективностью удаления аэрозольных частиц и молекулярного йода из пространства защитной оболочки в результате работы спринклерной системы. Изменения pH раствора приемки в течение аварийного периода не способны повлиять на выброс радиоактивного йода.

Ключевые слова: ВВЭР, защитная оболочка, приемок, теплоноситель первого контура, авария с потерей теплоносителя, продукты деления, коэффициент распределения йода, радиолиз, метилйодид, аэрозоль.

EDN: QPGJJM

УДК 621.039.4

Поведение трития в реакторной установке с жидкосолевым ядерным реактором-сжигателем

П.В. Гаца, К.А. Лучина, В.В. Игнатъев, О.С. Фейнберг,

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

Распространение трития за пределы реакторной установки — важный вопрос для обоснования безопасной эксплуатации АС с жидкосолевым реактором (ЖСР). Выполнен анализ образования и распространения трития в реакторной установке (РУ) с высокотемпературным жидкосолевым ядерным реактором-сжигателем (ЖСР-С) тепловой мощностью 2,4 ГВт с топливной солью состава ${}^7\text{Li}$, Be, An/F и активной зоной циклонного типа. Нормированная на МВт (т) средняя скорость наработки трития за кампанию ЖСР-С, рассчитанная с использованием программного средства (ПС) SERPENT-2 и библиотеки ядерных данных ENDF/B-VII, составила $1,7 \cdot 10^{11}$ Бк/МВт(т)/сут. Показано, что при наличии гелиевой продувки в насосах реакторного и промежуточного контуров расходом выше 1 л/мин (~0,02 об.% He в барботажной полости насоса), а также вентиляции в боксах с кратностью не менее 1 (полная замена газовой атмосферы за 1 ч) тритий не представляет опасности при работе РУ с ЖСР-С.

Ключевые слова: гелиевая продувка, жидкосолевым ядерный реактор-сжигатель, ЖСР-С, реакторный контур, топливная соль, тритий.

EDN: NYZMTC

УДК 621.039.536.2

Влияние структуры и фазового состава на характеристики трещиностойкости металла сварных швов корпусов реакторов ВВЭР-1000/1200

Д.А. Мальцев, А.П. Бандура, В.В. Василенко, Н.В. Степанов, С.А. Бубякин,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

В работе выполнен сравнительный анализ макро- и микроструктуры сварных швов с различными структурами, сформированными в результате сварки по различным технологиям. Выполнен анализ влияния характеристик зёрненной структуры и фазового состава сварных швов реакторов ВВЭР-1000/1200 на их эксплуатационные характеристики в исходном состоянии. Установлены структурные особенности, обуславливающие различия в пределе текучести, критической температуры хрупкости и вязкости разрушения сварных соединений корпусов реакторов ВВЭР-1000/1200 в исходном состоянии.

Ключевые слова: корпус реактора, металл сварного шва, температура вязко-хрупкого перехода, вязкость разрушения, предел текучести, зёрненная структура, фазовый состав.

EDN: DPFTIZ

УДК 621.039.58

Оценка радиационного воздействия трития, содержащегося в аммиачных удобрениях, произведённых с использованием ядерно-водородной технологии, на население

И.Н. Гераскин, И.А. Тупотилов, А.В. Гроль,
НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1

Оценивается радиационная безопасность населения, употребляющего в пищу продукты питания, содержащие тритий, попавший в них за счёт использования в качестве удобрения при их выращивании аммиачной селитры, изготовленной с использованием водорода, полученного на атомной станции с РУ МГР-100 ПКМ. В статье приведён обзор возможных путей попадания радионуклида трития в организм человека и показана необходимость учёта его влияния при оценке радиационных нагрузок. Результаты расчётов показали, что при существующих оценках содержания трития в производимом водороде и аммиачной селитре дозовые нагрузки на население за счёт потребления сельскохозяйственной продукции, выращенной с помощью таких удобрений, оказываются меньше установленных критериев радиационной безопасности для населения, указанных в федеральном законе о радиационной безопасности населения и в нормативной документации.

Ключевые слова: радиационная безопасность, ВТГР, производство водорода, тритий, пищевые цепочки.

EDN: YOAZJI