

Аннотации статей  
журнала “Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов ”,  
вып. № 3, 2015 г.

Выпуск подготовлен АО ОКБ “ГИДРОПРЕСС”

УДК 621.039.58

## **Применение искусственных нейронных сетей для исследования надежности аварийной защиты реактора**

*А.Н. Козлачков, М.А. Быков, В.Н. Сиряпин*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

Исследована надежность системы аварийной защиты реактора с учетом отказов различного количества органов регулирования системы управления и защиты (ОР СУЗ). Существует большое количество комбинаций отказов ОР СУЗ. Выполнить расчетное обоснование даже для малой части всех возможных комбинаций не представляется возможным. Разработана методика, основанная на применении искусственных нейронных сетей, которая позволяет оценить вероятность нарушения критериев безопасности для различных комбинаций отказов.

*Ключевые слова:* искусственная нейронная сеть, анализ неопределённостей, ВВЭР, реактор, надежность, аварийная защита, разрыв паропровода.

УДК 621.039.58

## **Анализ влияния возможных комбинаций зависаний органов регулирования СУЗ на надежность выполнения функции аварийной защиты РУ ВВЭР**

*И.Н. Шестаков, В.Н. Сиряпин, В.П. Шеин, А.А. Трибелев, В.А. Нерюев*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

В статье изложены характерные проблемы анализа надежности системы аварийной защиты для ВАБ - снижение расчетного консерватизма моделей надежности и учет отказов по общей причине большого числа однотипных элементов. Проводится исследование влияния числа и комбинаций зависаний органов регулирования СУЗ на температуру повторной критичности. По результатам исследования вводится принцип учета только «опасных» комбинаций зависаний ОР СУЗ в анализах надежности, что позволяет получить реалистические показатели надежности системы АЗ.

*Ключевые слова:* вероятностный анализ безопасности, анализ надежности, ВВЭР, система аварийной защиты, органы регулирования, зависания, комбинаторика.

УДК 621.039.58

## **Вопросы концепции создания системы представления параметров безопасности РУ ВВЭР**

*М.А. Подшибякин, В.М. Васин, А.В. Кирсанов, М.М. Гермаш,*

*Н.А. Стребнев, А.В. Мартынов; А.К. Подшибякин.*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

В соответствии с концепцией глубоко эшелонированной защиты (ГЭЗ) технические и организационные мероприятия по защите физических барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду должны осуществляться на всех 5-ти уровнях ГЭЗ. Система представления параметров безопасности (СППБ), являясь частью системы поддержки оперативного

персонала АЭС, используется при принятии решений по управлению энергоблоком на 1-ом – 4-ом уровнях ГЭЗ. Для СППБ предложено следующее определение параметров безопасности (ПБ): ПБ – это контролируемые параметры РУ и АЭС, характеризующие состояние функций безопасности и эффективность их выполнения по обеспечению целостности физических барьеров. Рассматривается взаимосвязь ПБ с функциями безопасности, эксплуатационными процедурами и процедурами управления авариями. Анализируются способы выбора ПБ и установления связи этих параметров с пределами безопасной эксплуатации, проектными пределами и критериями безопасности. Анализируется эффективность использования ПБ при разработке событийно- и симптомно-ориентированных инструкций по управлению авариями, а также при нормальной эксплуатации РУ и АЭС и эксплуатации с отклонениями.

*Ключевые слова:* функции безопасности, система поддержки оперативного персонала, глубоко эшелонированная защита, параметры безопасности, РУ ВВЭР.

УДК 621.039.58

## **Верификация трехмерной модели нейтронной кинетики кода ТРАП-КС по результатам расчетов тестовых задач с изменением реактивности**

*М.А. Увакин, Г.В. Алехин, М.А. Быков, С.И. Зайцев*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

Работа выполнена в рамках расчетов по верификации программного кода ТРАП-КС. Анализируются две тестовых задачи. В первой из них рассматривается несимметричный выброс органа регулирования СУЗ при работе на мощности. Данный процесс характеризуется быстрым вводом реактивности, приводящим к кратковременному локальному всплеску энерговыделения в реакторе. Во второй задаче рассчитывается эксперимент по исследованию ксеноновых колебаний. Иницируется введение небольшой отрицательной реактивности, в результате которого происходит снижение мощности реактора. Это снижение вызывает пространственные колебания концентрации ксенона, которые спустя некоторое время подавляются регулирующей группой при внешнем управлении.

*Ключевые слова:* верификация, код ТРАП-КС, реактивностные аварии, выброс ОР СУЗ, пространственные ксеноновые колебания, разрыв паропровода.

УДК 621.039.58

## **Консервативная методика определения времени возникновения исходного события при маневренном режиме изменения мощности для расчётов аварийных процессов на РУ ВВЭР по коду КОРСАР/ГП**

*А.П. Демехин, М.А. Увакин, В.В. Брюхин, А.А. Устинов*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

Одной из особенностей маневренных режимов является нестационарное изменение концентрации ксенона в активной зоне реактора. В результате при проведении расчетов аварий возникает задача определения наиболее неблагоприятного момента времени для возникновения исходного события. Предлагается методика, основанная на получении канонического разложения для параметров, соответствующих приемочным критериям. Базисом для разложения является вектор, компонентами которого являются регулирующие параметры. В результате, можно получить зависимость критериальных параметров как функции регулирующих параметров. В итоге определяется консервативное (наиболее неблагоприятное) исходное состояние и соответствующий ему момент времени, когда возникновение исходного со-

бытия будет наиболее консервативно. Предлагаемая методика ориентирована на применение в связанных расчетах при выполнении вероятностных анализов безопасности (ВАБ).

*Ключевые слова:* маневренный режим, мощность, пространственные ксеноновые колебания, разрыв паропровода, каноническое разложение, критериальные параметры, ВАБ.

УДК .001.2

## **Обобщение двумерных DDL-схем GQ-метода на трехмерные пространственные сетки из произвольных гексаэдров**

*А.А. Николаев*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

Разработаны и протестированы DDL-схемы GQ3D-метода для аппроксимации оператора переноса излучения на произвольных гексаэдрических сетках..

*Ключевые слова:* DDL-схемы, DS<sub>n</sub>-метод, реактор, трехмерные неструктурированные сетки.

УДК .004.5

## **Верификация программы PMSNSYS на методических задачах Т. Такеды**

*А.Н. Скобелев, А.А. Николаев*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

Представлены результаты верификации DDL-схем GQ-метода. Данные схемы реализованы в программе PMSNSYS. Верификация проводилась на примере расчета методических задач из сборника бенчмарков Т. Такеды.

*Ключевые слова:* PMSNSYS, верификация, эффективный коэффициент размножения нейтронов, групповые потоки, бенчмарк, Т. Такеда, DDL-схемы.

УДК 621.039.542

## **Обоснование внедрения модернизированного топлива на АЭС «ПАКШ»**

*А.В. Гришаков, В.Б. Лушин*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

Описана процедура перевода блоков АЭС «Пакш» на эксплуатацию с использованием модернизированных кассет с уран-гадолиниевым топливом в новом 4-х годичном топливном цикле. Указывается конкретная величина экономического эффекта внедрения новой топливной составляющей с учетом плановой продолжительности работы всех четырех блоков АЭС. Перечислены предприятия-участники работ по контракту с описанием их конкретного вклада в общий объем обосновывающей документации. Приводится перечень и формат оформления проектных критериев, требующих пересмотра и нового обоснования в связи с внедрением модернизированного топлива на блоках АЭС «Пакш». Приводится перечень основных нормативно технических документов, как действующих в РФ, так и в ВР, на основании которых проводилось обоснование изменения проектных материалов РУ.

*Ключевые слова:* АЭС «ПАКШ»; U-Gd топливо; топливный цикл; проектные требования; проектные критерии; активная зона; топливная сборка; выгорание топлива.

УДК 621.039.546

## **Экспериментальные исследования вибрации и фреттинг-износа твэлов ТВС-КВАДРАТ**

**Ю.В. Егоров, В.В. Макаров, А.В. Афанасьев, И.В. Матвиенко, Н.В. Шарый**  
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

В статье представлены результаты исследований по обоснованию вибропрочности ТВС российского проекта реактора PWR-900 (ТВС-КВАДРАТ). В проекте ТВС-КВАДРАТ применены принципиально новые конструктивные решения, а также новый водно-химический режим, характерный для реакторов PWR. В связи с этим программа исследований включала в себя два этапа:

– исследования гидродинамически возбуждаемой вибрации твэлов в составе полномасштабного макета при теплогидравлических параметрах теплоносителя, близких к параметрам нормальной эксплуатации реактора PWR;

– определение границы фреттинг-износа по итогам длительных испытаний трехпролетных моделей твэлов ТВС-КВАДРАТ с применением электромагнитного способа возбуждения поперечной вибрации и теплогидравлических параметрах теплоносителя, близких к параметрам нормальной эксплуатации реактора PWR.

В результате исследований была разработана и опробована методика обоснования вибропрочности ТВС по условию отсутствия фреттинг-износа, собраны данные по уровню вибраций твэлов в потоке теплоносителя и уровнях вибраций твэлов, при которых развивается фреттинг-износ оболочки. Выработаны рекомендации по дальнейшим испытаниям.

*Ключевые слова:* фреттинг-износ, вибрации, ТВС, твэл, ТВС-КВАДРАТ, область отсутствия износа.

УДК 621.039

## **Динамический анализ деформирования транспортно-технологического оборудования при проектных авариях**

**В.В. Абрамов, В.В. Евдокименко, Л.А. Лякишев, М.А. Новгради, П.Г. Петкевич**  
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

В статье представлены методика и некоторые результаты динамического анализа деформирования транспортно-технологического оборудования при проектных авариях, связанных с падениями тяжелых предметов. Для анализа применяется технология трехмерного моделирования и программный комплекс ANSYS LS-DYNA. Используемые элементы и методы решения верифицированы путем решения ряда тестовых задач. Полученные результаты могут быть использованы при обосновании ядерной безопасности.

*Ключевые слова:* падение тяжелых предметов, тепловыделяющая сборка, транспортно-технологическое оборудование.

УДК 004.42, 004.94

## **Анализ вероятности разрушения корпуса реактора ВВЭР с использованием эффективной расчетной модели**

*А.Е. Александров, А.В. Тюрин*

Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и информатики,  
119454, г. Москва, пр-т Вернадского, 78

*М.Н. Киселев, В.А. Пиминов*

АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г. Подольск, Московской обл., ул. Орджоникидзе, 21

В статье приводится описание вероятностной модели разрушения корпуса реактора РУ с ВВЭР, построенной на основе физико-механической модели, включающей процессы докритического и критического роста трещин. Для моделирования случайных процессов используется метод Монте-Карло. Для реализации процесса имитационного моделирования разработаны специальные программные средства и расчетные алгоритмы, позволяющие существенно сократить расчетное время и обеспечить возможность управления заданной погрешностью. Приведены тесты, оценивающие эффективность разработанных алгоритмов.

*Ключевые слова:* эффективная расчетная модель, модель разрушения корпуса реактора, эффективные алгоритмы, построение вычислительного эксперимента, средства анализа результатов.