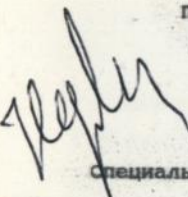


ОДЕССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

НЕДЕЛИН Олег Вячеславович

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОЛЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ В ОКОЛОКОРПУСНОМ
ПРОСТРАНСТВЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1000



Специальность: 05.14.14 - тепловые и ядерные электростанции
и энергоустановки (тепловая часть)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Научном центре "Институт ядерных исследований", г. Киев.

Научные руководители:

1. Доктор физико-математических наук, профессор
ТОКАРЕВСКИЙ Владимир Васильевич.
2. Кандидат физико-математических наук
БУКАНОВ Владимир Николаевич

Официальные оппоненты:

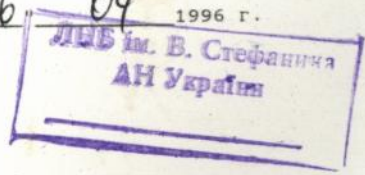
1. Доктор физико-математических наук, профессор
РУСОВ Виталий Данилович.
2. Кандидат технических наук
БОРИСЕНКО Владимир Иванович.

Ведущая организация: Государственный научно-технический
центр ядерной и радиационной
безопасности (г.Киев).

Защита состоится "16" мая 1996 г. в 14⁰⁰ часов на
заседании специализированного ученого совета Д 05.06.02 при
Одесском государственном политехническом университете по адресу:
270044 г.Одесса, пр.Шевченко 1, аудитория 22тл.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Одесского
государственного политехнического университета.

Автореферат разослан "16" 09 1996 г.



Ученый секретарь
специализированного совета

МАЗУРЕНКО А.С.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00754397 (Z)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Развитие атомной энергетики требует неуклонного повышения достоверности определения характеристик физических процессов, непосредственно влияющих на уровень безопасности эксплуатации АЭС. К таким процессам относятся, прежде всего, изменения прочностных характеристик узлов и деталей реакторных установок (РУ) под воздействием нейтронного излучения. От точности с которой известны величины нейтронных потоков воздействующих на конструкционные материалы РУ зависит не только прогноз безопасности объекта, но и важнейшие экономические показатели - прежде всего ресурс установки.

Наиболее распространены, в настоящее время, ядерными энергетическими установками (ЯЭУ) являются установки корпусного типа с водой под давлением в качестве теплоносителя. Срок эксплуатации этих установок ограничен ресурсом корпуса. Поэтому необходимо получение достоверной информации о состоянии металла корпуса реактора (КР). Действующая в настоящее время программа контроля состояния металла корпуса реакторов типа ВВЭР-1000 с помощью образцов-свидетелей (ОС) не позволяет с высокой степенью достоверности перенести данные об изменении механических свойств облученных ОС на материал корпуса. Результаты испытаний ОС могут быть использованы для определения состояния корпуса только в том случае, если известна радиационная нагрузка всех его зон.

Сложность проблемы заключается в том, что конструкция реактора типа ВВЭР не позволяет экспериментально определить радиационную нагрузку на КР. На действующих энергоблоках возможны изменения характеристик нейтронного поля только у внешней поверхности корпуса. Характеристики нейтронного поля около внутренней поверхности КР могут быть получены только расчетно-экспериментальным путем.

Целью данной работы является определение пространственно-энергетических характеристик полей быстрых нейтронов в диапазоне 0.1 - 14 МэВ в околокорпусном пространстве (ОКП) серийного реактора ВВЭР-1000 расчетно-экспериментальным методом.

Для этого потребовалось:

- разработать методику расчетно-экспериментального определения характеристик поля нейтронов у внешней поверхности КР;
- получить экспериментальные данные по пространственно-энергетическим характеристикам нейтронного поля у внешней поверхности

КР действующего серийного энергоблока ВВЭР-1000;

- разработать и программно реализовать методику расчета интенсивности, спектрального и пространственного распределения источников рождающихся нейтронов в активной зоне (АКЗ) реактора;
- разработать программу и провести расчет изотопного состава (с учетом характеристик конкретной топливной загрузки, ° эффектов выгорания и конструкции установки) для АКЗ и ОКП серийного реактора ВВЭР-1000;
- разработать и программно реализовать проблемно ориентированный геометрический модуль для расчета переноса нейтронов в АКЗ и ОКП РУ;
- провести расчетные исследования в обоснование принятых подходов при программной реализации пакета прикладных программ (ППП) для расчета пространственно-энергетических характеристик нейтронного поля в ОКП реактора;
- на основе расчетно-экспериментальных данных определить пространственно-энергетические характеристики поля быстрых нейтронов, воздействующих на внутреннюю поверхность КР.

Научная новизна работы.

1. Разработана расчетно-экспериментальная методика определения пространственно-энергетических характеристик нейтронного поля в ОКП серийного реактора ВВЭР-1000.

2. Разработан и программно реализован алгоритм расчета переноса нейтронов в АКЗ и ОКП серийной РУ.

3. Рассчитаны пространственные коэффициенты ослабления плотности потока нейтронов (ППН) материалом КР ВВЭР-1000.

4. На основе расчетно-экспериментальных данных получены значения флюенсов нейтронов с $E_n > 0.5$ МэВ на внутренней поверхности корпуса и на глубине $1/4$ и $3/4$ толщины стенки за топливную кампанию энергоблока.

5. Получены азимутальная и высотная зависимости ППН в 60° секторе симметрии АКЗ на внутренней поверхности корпуса серийного реактора ВВЭР-1000.

Впервые выполнено расчетно-экспериментальное определение радиационной нагрузки КР серийного реактора ВВЭР-1000 с использованием проблемно ориентированного пакета прикладных программ на основе метода Монте-Карло (ММК).

Показана возможность использования расчетно-экспериментальных данных для определения характеристик нейтронного поля в ОКП

РУ ВВЭР-1000 и, тем самым, радиационной нагрузки корпуса.

Практическая значимость. Разработанная расчетно-экспериментальная методика определения пространственно-энергетических характеристик поля нейтронов в ОКП серийного реактора типа ВВЭР-1000 может служить основой для разработки штатной системы мониторинга радиационной нагрузки КР и, таким образом, повышению достоверности определения срока эксплуатации ЯЭУ.

Полученные расчетно-экспериментальные данные могут быть использованы:

- для определения степени радиационного охрупчивания металла КР ВВЭР-1000;
- уточнения радиационного ресурса безаварийной работы КР;
- общего повышения уровня безопасности эксплуатации АЭС;
- для работ по совершенствованию константного обеспечения и методик расчетов защитных композиций ЯЭУ.

Автор защищает:

1. Методику получения экспериментальных данных о пространственно-энергетических характеристиках нейтронного поля у внешней поверхности КР действующего серийного энергоблока ВВЭР-1000.

2. Результаты экспериментального определения характеристик нейтронного поля на внешней поверхности КР.

3. Методику расчета характеристик поля нейтронов в ОКП реактора ВВЭР-1000 на основе проблемно ориентированного расчетного комплекса с использованием ММК.

4. Результаты определения, на основе расчетно-экспериментальных данных, пространственно-энергетических характеристик поля быстрых нейтронов и флюенсов, воздействующих на внутреннюю поверхность КР.

Апробация работы и публикации. Материалы, вошедшие в диссертацию, были получены в ходе выполнения работ по научному сопровождению эксплуатации блока N1 Хмельницкой АЭС, а так же договоров о проведении научно-исследовательских работ с Государственным комитетом по использованию атомной энергии Украины и Международным агентством по использованию атомной энергии (МАГАТЭ).

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на I-ом рабочем семинаре УкрЯО по проблемам ядерной безопасности (г. Южноукраинск, УкрЯО, ПО БуАЭС, 1994г.), I-ой Конференции УкрЯО "Молодежь - ядерной энергетике Украины" (г. Одесса, УкрЯО,

1994г.), II-ой Конференции УкрЯО "Молодежь - ядерной энергетике" (г.Одесса, УкрЯО, 1995г.), на IX-ом Международном семинаре по проблемам физики реакторов (г.Москва, МИФИ, 1995г.), на семинарах и ежегодных научных конференциях ИЯИ НАН Украины и содержатся в 6 публикациях, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Работа изложена на 116 страницах машинописного текста, включая 14 рисунков, 12 таблиц на 20 страницах и список цитируемой литературы из 80 наименований на 10 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель исследований и положения, защищаемые автором, а так же описаны области применения и научная новизна полученных результатов. Приведены данные о структуре и объеме диссертации.

Первая глава посвящена анализу существующих методов определения характеристик нейтронного поля в ОКП реакторов типа ВВЭР.

Начинается глава обзором современного состояния данных о пространственно-энергетических характеристиках нейтронных полей в ОКП реакторов типа ВВЭР. Проанализирован набор расчетно-экспериментальных данных для различных типов реакторов ВВЭР, полученных как на действующих энергоблоках, так и на макетных сборках. Приводится экспериментальное подтверждение несовершенства существующей системы оценки радиационной нагрузки КР на основе ОС. Показана необходимость проведения дальнейших исследований пространственно-энергетических характеристик поля нейтронов в ОКП серийных РУ типа ВВЭР-1000.

Далее обосновывается использование нейтронно-активационного метода для определения пространственно-энергетических характеристик поля нейтронов у внешней поверхности КР.

Рассматриваются основные комплексы и программы, используемые в настоящее время для расчета переноса нейтронов в ОКП ВВЭР. Анализ литературных данных показал, что МИК не использовался для определения пространственно-энергетических характеристик поля нейтронов в ОКП серийного реактора ВВЭР-1000.

Заключает главу обоснование задачи исследований, вытекающей из обрисованного в этой главе современного состояния проблемы.

Вторая глава содержит описание разработанного на основе МИК

алгоритма расчета переноса нейтронов в АКЗ и ОКП реактора ВВЭР-1000.

Особенностью использования ММК в задачах переноса нейтронов является то, что этот метод не решает какого-либо уравнения переноса, а напрямую моделирует поведение нейтрона в среде. Таким образом, история нейтрона в АКЗ и ОКП реактора в классической интерпретации ММК представляет собой цепь логически выстраивающихся событий (так называемая цепочка Маркова): рождение нейтрона, пробег до пересечения с границей области постоянного (или условно постоянного) изотопного состава или до взаимодействия, розыгрыш типа взаимодействия и, в случае рассеяния, определение энергии и нового направления полета после взаимодействия.

В этой главе рассмотрены основные расчетные зависимости и соотношения, используемые в алгоритме расчета переноса нейтронов в АКЗ и ОКП реактора. Основное внимание уделено зависимостям, которые при математически точном описании процесса содержат минимально возможное число тригонометрических и алгебраических функций. Такой подход объясняется стремлением к минимизации расчетного времени задачи за счет сокращения обращений к библиотечным функциям алгоритмического языка.

В третьей главе описывается разработанный ППП DETA, предназначенный для расчета переноса нейтронов ММК в АКЗ и ОКП (включая фрагмент биологической защиты) реактора ВВЭР-1000. Расчетная область (РО) представляет собой 30-градусный сектор симметрии АКЗ и ОКП реактора ВВЭР-1000 в двумерном приближении. Основными блоками, входящими в ППП являются:

1. MACRO - предназначен для расчета макроскопических сечений взаимодействия в материальных зонах, входящих в РО.
2. DETA-KK - программа расчета пространственного и спектрального распределения нейтронов деления в АКЗ серийного реактора ВВЭР-1000.
3. DETA-Tr - проблемно ориентированный геономодуль.
4. FLUX - программа обработки результатов расчета.

Кроме того, в ППП входит ряд интерфейсных программ, обеспечивающих подключение расчетных модулей DETA к буферным файлам программы АЛЬБОМ-РС.

К особенностям разработанного ППП DETA можно отнести следующее:

- расчет пространственно-энергетического распределения нейтронов

деления проводится с использованием данных, полученных при имитации выгорания топлива по программе сопровождения эксплуатации АЛБОМ-РС;

- потвзльное распределение источников нейтронов деления рассчитывается с использованием программы РЭМНАК;
- учитывается ужесточение спектра и увеличение количества нейтронов деления на один поглощенный нейтрон с ростом глубины выгорания топлива;
- расчет концентраций основных изотопов в АКЗ производится с учетом реального протекания топливного цикла.

К особенностям транспортного модуля DETA-Tr относятся:

- визуализация (отображение на экране РС) всей РО в соответствии с заданными геометрическими размерами, что позволяет оценить правильность задания исходных геометрических данных РО;
- использование канонических уравнений поверхностей, входящих в РО;
- графическое сопровождение расчета, позволяющее без затрат машинного времени, контролировать ход расчета и правильность задания распределения источников нейтронов в АКЗ;
- использование в расчетах статистических весов с учетом доли нейтронов, попадающих при рождении в каждую энергетическую группу;
- поглощение нейтрона трактуется как уменьшение его статистического веса кратное вероятности выживания при каждом взаимодействии;
- для снижения дисперсии используется метод "расщепление + рунетка";
- при необходимости могут быть использованы данные системы внутриреакторного контроля для уточнения распределения источников быстрых нейтронов в АКЗ ЯЭУ.

Основным режимом работы ППП DETA является расчет плотности потока и флюенса быстрых нейтронов в диапазоне 0.1 - 14 МэВ на внутренней, внешней поверхностях и в толще корпуса (1/4 и 3/4 толщины) за выбранный пользователем временной интервал топливного цикла или за весь цикл.

Все модули ППП DETA написаны на алгоритмическом языке Фортран.

Четвертая глава. В этой главе представлены результаты расчетно-экспериментального определения характеристик поля нейтро-

нов в ОКП реактора и флюенса нейтронов с $E_n > 0.5$ МэВ на внутреннюю поверхность и в толще металла КР блока №1 Хиельницкой АЭС за период эксплуатации 7-ой топливной загрузки.

Задача определения пространственно-энергетических характеристик нейтронного поля в ОКП реактора решалась следующим образом. Нейтронно-активационным методом измерялись спектры нейтронов на внешней поверхности КР. С помощью ППП ДЕТА рассчитывались характеристики поля нейтронов в ОКП реактора. Расчетные данные сравнивались с экспериментальными.

Флюенс нейтронов с $E_n > 0.5$ МэВ на внутреннюю поверхность и в толще металла КР определялся по следующей схеме. По экспериментально полученному у внешней поверхности корпуса спектру определялся флюенс нейтронов с $E_n > 0.5$ МэВ. С учетом реального протекания топливной кампании рассчитывались пространственные коэффициенты ослабления ППН в материале КР. Используя полученные экспериментальные и расчетные данные определялся флюенс быстрых нейтронов на внутреннюю поверхность и в толще металла корпуса.

Анализ измерительной задачи позволил выбрать оптимальный набор активационных детекторов для определения характеристик нейтронного поля.

18 комплектов активационных детекторов с помощью крестообразного держателя устанавливались на внешней поверхности КР. Каждый комплект содержал детекторы из Ni, Fe, Ti, Cu.

Горизонтальная штанга держателя располагалась на уровне середины 4-го слоя АКЗ реактора. Вертикальная часть - имела угловую координату 25^0 в 60-градусном секторе симметрии АКЗ и ОКП.

Спектры нейтронов у внешней поверхности КР восстанавливались по результатам активационных измерений программой, использующей прямую итерационную процедуру типа SAND-II.

По восстановленным спектрам определялись интегральные ППН с энергиями выше 0.5 и 3.0 МэВ - $\Phi_{0.5}$ и $\Phi_{3.0}$, соответственно, и рассчитывались спектральные коэффициенты.

Интегральные ППН и их погрешности представлены в таблице 1, где z - высотная координата от горизонтальной штанги держателя, θ - угол в 60-градусном секторе симметрии АКЗ и ОКП.

Сопоставление результатов расчета с экспериментом и сравнение с расчетными данными, полученными по другим, уже верифицированным, программам позволяет оценить пригодность программного продукта для проведения расчетных исследований.

Таблица 1

номер точки	z см	θ гр	$\Phi_{0.5}$	$\Delta\Phi_{0.5}$	$\Phi_{3.0}$	$\Delta\Phi_{3.0}$
			$\text{н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\text{н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\text{н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\text{н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
01	120	25	$3.63 \cdot 10^9$	$8.7 \cdot 10^8$	$1.29 \cdot 10^8$	$4.9 \cdot 10^6$
02	90	25	$4.16 \cdot 10^9$	$7.3 \cdot 10^8$	$1.39 \cdot 10^8$	$4.1 \cdot 10^6$
03	60	25	$4.53 \cdot 10^9$	$4.9 \cdot 10^8$	$1.38 \cdot 10^8$	$3.4 \cdot 10^6$
04	30	25	$4.56 \cdot 10^9$	$4.8 \cdot 10^8$	$1.37 \cdot 10^8$	$3.5 \cdot 10^6$
05	14	25	$4.25 \cdot 10^9$	$5.2 \cdot 10^8$	$1.39 \cdot 10^8$	$3.3 \cdot 10^6$
06	0	25	$4.22 \cdot 10^9$	$6.5 \cdot 10^8$	$1.34 \cdot 10^8$	$4.0 \cdot 10^6$
07	-30	25	$4.11 \cdot 10^9$	$6.0 \cdot 10^8$	$1.36 \cdot 10^8$	$3.8 \cdot 10^6$
08	-60	25	$4.28 \cdot 10^9$	$5.9 \cdot 10^8$	$1.36 \cdot 10^8$	$3.6 \cdot 10^6$
09	-90	25	$3.64 \cdot 10^9$	$1.1 \cdot 10^9$	$1.39 \cdot 10^8$	$6.6 \cdot 10^6$
10	-120	25	$3.49 \cdot 10^9$	$5.4 \cdot 10^8$	$1.11 \cdot 10^8$	$3.3 \cdot 10^6$
11	0	2	$9.01 \cdot 10^9$	$1.3 \cdot 10^9$	$2.67 \cdot 10^8$	$7.5 \cdot 10^6$
12	0	6	$8.75 \cdot 10^9$	$1.4 \cdot 10^9$	$2.84 \cdot 10^8$	$8.4 \cdot 10^6$
13	0	11	$8.55 \cdot 10^9$	$1.1 \cdot 10^9$	$2.67 \cdot 10^8$	$6.6 \cdot 10^6$
14	0	20	$4.31 \cdot 10^9$	$5.9 \cdot 10^8$	$1.35 \cdot 10^8$	$3.4 \cdot 10^6$
15	0	30	$3.70 \cdot 10^9$	$6.3 \cdot 10^8$	$1.23 \cdot 10^8$	$3.3 \cdot 10^6$
16	0	46	$5.43 \cdot 10^9$	$5.3 \cdot 10^8$	$1.70 \cdot 10^8$	$4.3 \cdot 10^6$
17	0	51	$9.32 \cdot 10^9$	$1.2 \cdot 10^9$	$2.84 \cdot 10^8$	$6.8 \cdot 10^6$
18	0	56	$9.74 \cdot 10^9$	$9.5 \cdot 10^8$	$2.88 \cdot 10^8$	$6.6 \cdot 10^6$

В таблице 2 представлено сопоставление экспериментально полученных величин с результатами расчетов ППН на внешней поверхности КР программными комплексами DETA и RETINA (Германия).

Так как расчеты проводились в 30-градусном секторе симметрии в двумерной РО, то сравнение проведено только для экспериментальных точек, попавших в этот сектор на уровне 4-го слоя АКЗ.

Таблица 2

номер точки	Отношение расчетных и экспериментальных ППН			
	$\Phi_{0.5}$	$\Phi_{3.0}$	$\Phi_{0.5}$	$\Phi_{3.0}$
	DETA/экспер.	DETA/экспер.	RETINA/эксп.	RETINA/эксп.
15	1.16	1.11	0.80	0.92
6	1.11	1.13	0.76	0.91
14	0.98	1.05	0.77	0.92
13	0.88	1.06	0.77	0.93
12	0.88	1.08	0.81	0.92
11	0.85	1.04	0.79	0.95

Приведенные в таблице 2 данные свидетельствуют о высокой степени пригодности ППП DETA для расчета переноса нейтронов в АКЗ и ОКП реактора ВВЭР-1000.

Полученные с использованием расчетно-экспериментальной не-

Таблица 3

номер точки	внутр. $\Phi_{0.5}$, см ⁻²	$\Phi_{0.5}$, см ⁻²	$\Phi_{0.5}$, см ⁻²	внеш. $\Phi_{0.5}$, см ⁻²
01	$1.78 \cdot 10^{17}$	$1.37 \cdot 10^{17}$	$5.92 \cdot 10^{16}$	$4.56 \cdot 10^{16}$
02	$2.03 \cdot 10^{17}$	$1.56 \cdot 10^{17}$	$6.77 \cdot 10^{16}$	$5.20 \cdot 10^{16}$
03	$2.21 \cdot 10^{17}$	$1.70 \cdot 10^{17}$	$7.36 \cdot 10^{16}$	$5.67 \cdot 10^{16}$
04	$2.23 \cdot 10^{17}$	$1.71 \cdot 10^{17}$	$7.42 \cdot 10^{16}$	$5.71 \cdot 10^{16}$
05	$2.08 \cdot 10^{17}$	$1.60 \cdot 10^{17}$	$6.92 \cdot 10^{16}$	$5.32 \cdot 10^{16}$
06	$2.06 \cdot 10^{17}$	$1.59 \cdot 10^{17}$	$6.87 \cdot 10^{16}$	$5.28 \cdot 10^{16}$
07	$2.00 \cdot 10^{17}$	$1.54 \cdot 10^{17}$	$6.68 \cdot 10^{16}$	$5.14 \cdot 10^{16}$
08	$2.09 \cdot 10^{17}$	$1.61 \cdot 10^{17}$	$6.97 \cdot 10^{16}$	$5.36 \cdot 10^{16}$
09	$1.78 \cdot 10^{17}$	$1.37 \cdot 10^{17}$	$5.93 \cdot 10^{16}$	$4.56 \cdot 10^{16}$
10	$1.70 \cdot 10^{17}$	$1.31 \cdot 10^{17}$	$5.67 \cdot 10^{16}$	$4.36 \cdot 10^{16}$
11	$6.88 \cdot 10^{17}$	$5.08 \cdot 10^{17}$	$2.03 \cdot 10^{17}$	$1.13 \cdot 10^{17}$
12	$6.79 \cdot 10^{17}$	$5.26 \cdot 10^{17}$	$2.08 \cdot 10^{17}$	$1.10 \cdot 10^{17}$
13	$6.75 \cdot 10^{17}$	$5.03 \cdot 10^{17}$	$1.93 \cdot 10^{17}$	$1.07 \cdot 10^{17}$
14	$3.33 \cdot 10^{17}$	$2.58 \cdot 10^{17}$	$1.09 \cdot 10^{17}$	$6.80 \cdot 10^{16}$
15	$1.80 \cdot 10^{17}$	$1.39 \cdot 10^{17}$	$6.02 \cdot 10^{16}$	$4.63 \cdot 10^{16}$
16	$2.10 \cdot 10^{17}$	$1.62 \cdot 10^{17}$	$7.01 \cdot 10^{16}$	$5.39 \cdot 10^{16}$
17	$7.35 \cdot 10^{17}$	$5.49 \cdot 10^{17}$	$2.10 \cdot 10^{17}$	$1.17 \cdot 10^{17}$
18	$7.56 \cdot 10^{17}$	$5.86 \cdot 10^{17}$	$2.32 \cdot 10^{17}$	$1.22 \cdot 10^{17}$

тодики флюенсы нейтронов на внутреннюю поверхность и в толще металла КР представлены в таблице 3.

Все расчетные значения ППН в данной работе были получены с использованием библиотеки нейтронно-физических констант ВНАБ-78. Статистическая погрешность определения групповых значений ППН не превысила 2% во всей РО.

В заключительной части 4-ой главы сформулированы основные положения расчетно-экспериментальной методики определения радиационной нагрузки КР ВВЭР-1000. Разработанная методика включает в себя:

- нейтронно-активационные измерения на внешней поверхности КР оптимальным набором детекторов;
- измерение наведенных нейтронами активностей с помощью γ -спектрометрической установки;
- накопление и обработку спектрометрической информации пакетом программ, адаптированным к реальным условиям измерений;
- восстановление спектров нейтронов по результатам активационных измерений программой, использующей прямую итерационную процедуру. Задача восстановления сводится к корректировке исходного спектра, задаваемого функцией $\Phi_0(E)$, получаемой из расчета транспорта нейтронов. Это позволяет использовать сравнительно небольшое число активационных детекторов;

- определение пространственного Φ и спектрального распределения нейтронов деления в АКЗ реактора с использованием данных расчета программы АЛЬБОМ-РС и РЭМНАК;
- расчет изотопного состава зон РО с учетом особенностей топливной загрузки, протекания топливного цикла и проектных характеристик РУ;
- расчет транспорта нейтронов ММК для определения характеристик нейтронного поля в ОКП реактора ВВЭР-1000;
- расчетное определение пространственных коэффициентов ослабления ППИ материалов КР;
- определение характеристик полей нейтронов и флюенсов, воздействующих на металл КР, с использованием экспериментальных и расчетных данных.

В заключении изложены основные результаты работы, главными из которых являются:

1. Разработана расчетно-экспериментальная методика определения характеристик нейтронного поля в ОКП серийного реактора ВВЭР-1000.

2. Разработан и программно реализован алгоритм расчета переноса нейтронов ММК в АКЗ и ОКП серийного реактора ВВЭР-1000.

3. Показана необходимость детального учета геометрии элементов ОКП ВВЭР-1000 для получения достоверных результатов расчета.

4. Показана необходимость учета распределения энерговыделения в потвзльном приближении и ужесточения спектра нейтронов деления с ростом глубины выгорания топлива при проведении подобных расчетов.

5. Впервые оценка радиационной нагрузки КР типа ВВЭР-1000 выполнена с использованием проблемно ориентированного ППП на основе ММК.

6. Применение разработанной расчетно-экспериментальной методики на действующем серийном энергоблоке позволило получить следующие данные:

- максимальный флюенс нейтронов с энергией $E_n > 0.5$ МэВ за период эксплуатации 7-ой топливной загрузки блока N1 ХАЭС на уровне 4-го слоя АКЗ на внутреннюю поверхность корпуса $7.56 \cdot 10^{17}$ н/см² - получен напротив выступающей ТВС (N13 в 30-градусном секторе симметрии АКЗ);
- минимальное значение флюенса на КР за этот же период на уровне

4-го слоя АКЗ составляет $1.80 \cdot 10^{17}$ н·см⁻²;

- максимальное различие ППН с $E_n > 0.5$ МэВ на внутренней поверхности КР составляет:
- по азимуту на уровне 4-го слоя АКЗ - 4.2 раза;
- по высоте АКЗ - 1.3 раза.

7. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показывает высокую степень достоверности расчета характеристик нейтронного поля в ОКП действующей РУ типа ВВЭР-1000, выполненного с использованием разработанного ППП ДЕТА.

8. Сформулирован ряд рекомендаций по разработке и обоснованию системы мониторинга радиационной нагрузки КР:

- в основе системы мониторинга радиационной нагрузки КР должна лежать расчетно-экспериментальная методика определения характеристик нейтронного поля в ОКП реактора;
- расчетная часть методики должна обеспечивать достоверный расчет K_p в материале КР;
- спектральные характеристики поля нейтронов у внешней поверхности корпуса могут быть с высокой степенью достоверности получены нейтронно-активационным методом;
- при мониторинге радиационной нагрузки КР особое внимание необходимо обращать на участки корпуса, против которых располагаются выступающие ТВС. Эти участки подвергаются воздействию нейтронного излучения с максимальной плотностью потока. Представляется целесообразным учитывать этот факт при топливной компоновке АКЗ.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Буканов В.И., Васильева Е.Г., Гаврилюк В.И., Гриник Э.У., Демехин В.Л., Неделин О.В., Воробей В.В., Порало Г.И., Титов А.С., Шадринцев С.В. Определение флюенсов быстрых нейтронов на "образцах-свидетелях" блока № 1 Хмельницкой АЭС // Материалы ежегодной научной конференции ИЯИ НАН Украины (сборник докладов). - К.: ИЯИ НАНУ, 1994. - С.220-223.

2. Воробьев Е.Л., Неделин О.В., Петров Р.В., Азаров С.И., Буканов В.И., Гаврилюк В.И., Демехин В.Л., Токаревский В.В. Влияние конструктивных особенностей выгородки ВВЭР-1000 на результаты расчета переноса нейтронов в околоректорном пространстве реактора // Материалы ежегодной научной конференции ИЯИ НАН Украины (сборник докладов). - К.: ИЯИ НАНУ, 1994. - С.224-227.

3. Nedelin O.V., Vorob'ev E.L., Petrov R.V., Asarov S.I., Tokarevskiy V.V. Evaluation of Approximation Method Used for Calculation of Neutron Energy Loss in Elastic Scattering // Problems of Nuclear Reactor Safety: Proceeding of the 9th Topical Meeting, Moscow, MEPHI, h/c "Volga", September 4-8, 1995., V.2 - M.: MEPHI, 1995. p.138-140.

4. Vorob'ev E.L., Nedelin O.V., Petrov R.V., Asarov S.I., Bukanov V.N., Gavriluk V.I., Demyohin V.L., Tokarevskiy V.V. Influence of Baffle's Construction of WWER-1000 on Results of Neutron Transport Calculations in the Region of the Pressure Vessel // Problems of Nuclear Reactor Safety: Proceeding of the 9th Topical Meeting, Moscow, MEPHI, h/c "Volga", September 4-8, 1995., V.2 - M.: MEPHI, 1995. p.185-187.

5. Неделин О.В., Демехин В.Л., Воробьев Е.Л., Гриценко А.В. Комплекс программы для расчета характеристик нейтронного поля в околореакторном пространстве реактора ВВЭР-1000 // "Молодежь - ядерной энергетике". Сборник материалов II-ой конференции УкрЯО. Под ред. С.В.Барбашова. - Одесса, УкрЯО, 1995. - с.17-18.

6. Неделин О.В., Демехин В.Л., Гриценко А.В., Воробьев Е.Л. ДЕТА - пакет прикладных программ для расчета характеристик нейтронного поля в околореакторном пространстве реактора ВВЭР-1000. - Киев, 1996. - 18 с. - (Препр./НАН Украины. Ин-т ядерных исслед.: КИЯИ-96-1).

Nedelin O.V. " Spatial-energy characteristics of fast neutron field in near-vessel space of reactor WWER-1000 type". Candidate of Technical Sciences Thesis in the speciality 05.14.14 - Heat and Nuclear Power Plants and Power Facilities (Heat Part). Odessa state politechnical university, Odessa 1996.

The work is devoted to problems of neutron irradiation exposure determination for pressure vessel of commercial reactors WWER-1000 type. The calculational-experimental methodic was developed for determination of neutron fields characteristics in near-vessel space. Spatial-energy characteristics of fast neutrons field affected pressure vessel steel of reactor's facility were obtained for operating power plant.

Неделин О.В. " Пространственно-энергетические характеристики поля быстрых нейтронов в околокорпусном пространстве реактора ВВЭР-1000". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 - Тепловые и ядерные электростанции и энергоустановки (тепловая часть). Одесский государственный политехнический университет, Одесса 1996.

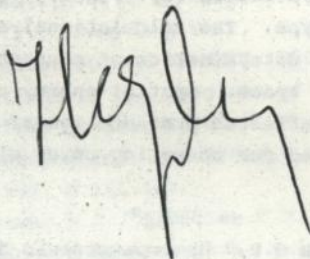
Работа посвящена вопросам определения радиационной нагрузки корпусов серийных реакторов типа ВВЭР-1000. Разработана расчетно-экспериментальная методика определения характеристик поля нейтронов в околокорпусном пространстве реактора. Для действующего энергоблока получены пространственно-энергетические характеристики поля быстрых нейтронов воздействующих на металл корпуса реакторной установки.

Неделін О.В. "Просторово-енергетичні характеристики поля швидких нейтронів у білякорпусному просторі реактора ВВЕР-1000". Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.14.14 - теплові та ядерні електростанції та енергоустановки (теплова частина). Одеський державний політехнічний університет, Одеса 1996.

Робота присвячена питанням визначення радіаційного навантаження корпусів серійних реакторів типу ВВЕР-1000. Розроблено розрахунково-експериментальну методику визначення характеристик

поля нейтронів у біякорпусному просторі реактора. Для діючого енергоблоку отримані просторово-енергетичні характеристики поля швидких нейтронів, що впливають на метал корпусу реакторної установки.

Ключові слова: ядерний енергетичний реактор, радіаційне навантаження, корпус реактора, нейтронний потік.



НЕДЕЛИН Олег Вячеславович

ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПОЛЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ В ОКОЛОКОРПУСНОМ
ПРОСТРАНСТВЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Подписано к печати 04.04.96. Формат 60x84/16. Печать
офсетная. 1,0 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 25

СКТБ с ЭП Научного центра "Институт ядерных исследований".
252028, Киев-28, проспект Науки, 47.

445410

AB 34.504

AB 34.504