

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки - 14.04.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние выгорающего поглотителя на распределение энерговыделения в ТВС реактора ВВЭР-1000

УДК 621.039.577:621.039.517

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Ван Цайлунь		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Юрий Борисович	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Меньшикова Е. В.	к.филос.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.04.02 Ядерные физики и технологии	Кузнецов М.С.	к.т.н		

Томск – 2019 г.

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными - документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки - 14.04.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) Дорофеева Л.И.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ73	Ван Цайлунь

Тема работы:

Влияние выгорающего поглотителя на распределение энерговыделения в ТВС реактора ВВЭР-1000	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Реактор ВВЭР-1000, активная зона реактора ВВЭР-1000, использование выгорающего поглотителя в реакторе, руководство по эксплуатации программы WIMSD5B, ..
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов,</i>	– Обзор литературных источников; – Подготовка расчетных моделей элементарных ячеек реактора ВВЭР-1000; – Изучение особенностей расчета ядерного реактора с помощью программы WIMS-D5. – Оценка влияния выгорающий поглотитель на нейтрона физические характеристики

подлежащих разработке; заключение по работе).	реактора ВВЭР-1000. – Анализ полученных результатов; – Социальная ответственность; – Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение; – Заключение.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е. В.
Иностранный язык	Шайкина О. И.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Обзор литературы по тематике диссертации

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Юрий Борисович	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Ван Цайлунь		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	– Иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – Календарный план-график реализации проекта.
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Матрица SWOT
3. Иерархическая структура работ
4. Календарный план проекта
5. Бюджет проекта
6. Определение ресурсоэффективности проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОГСН ШБИП	Меньшикова Е. В.	к.филос.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Ван Цайлунь		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM73	Ван Цайлунь

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	– электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Ван цайлунь		

Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя 105 с., 25 рис., 22 табл., 25 источников, 2 прил.

Ключевые слова: ВВЭР-1000, нейтронно-физический расчет, программный комплекс WIMSD5B, ядерные концентрации, запас реактивности, глубина выгорания, энерговыделение, выгорание.

Объектом исследования является нейтронно-физические параметры реактора ВВЭР-1000.

Цель работы: анализ влияния выгорающего поглотителя в ядерных реакторах для снижения начального запаса реактивности и выравнивания распределения энерговыделения в ядерном реакторе.

В процессе выполнения магистерской диссертации проводился расчет и сравнение длительности кампании и глубины выгорания различных топливных композиций ТВЭЛ в программе WIMS-D5.

В результате исследования выявлено, что

- оценка влияния выгорающий поглотитель на нейтрона физические характеристики реактора ВВЭР-1000;
- зависимости выгорания ^{235}U от глубины выгорания при разном количестве добавлении ТВЭЛов.

Область применения: ядерная энергетика.

Экономическая эффективность/значимость работы: высокая.

Обозначения и сокращения

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка;

КИУМ – коэффициент использования установленной мощности;

СУЗ – система управления и защиты реактора;

ВП – выгорающий поглотитель;

СВП – Стержни с выгорающим поглотителем;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВЭГ – тепловыделяющий элемент с гадолинием.

Содержание

Введение.....	11
1. Конструкционные особенности ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000.....	14
1.1 ВВЭР-1000.....	14
1.1.1 Основные конструктивные решения ВВЭР.....	14
1.1.2 Реакторы ВВЭР-1000.....	16
1.1.3 Активная зона ВВЭР-1000.....	18
1.1.4 Центральная сборка.....	20
1.2 Использование выгорающего поглотителя в реакторе ВВЭР-1000.....	23
1.2.1 Топливные сборки с выгорающими поглотителями.....	23
1.2.2 Конструктивные и технологические решения проблемы использования выгорающих поглотителей.....	26
1.2.3 Некоторые особенности реакторов с выгорающим поглотителем.....	27
1.3 Расчет физических характеристик реактора.....	29
2. WIMSD5 – Расчет детерминированных многогрупповых реакторных решеток.....	32
3 Расчетная часть.....	35
3.1 Расчетная модель с одиночным ТВЭЛОМ.....	35
3.2 Расчет глубины выгорания при выгорающих поглотителях.....	37
3.3 Расчетная модель реактора ВВЭР-1000 в виде ТВС.....	43
3.4 Влияние выгорающего поглотителя на распределение энерговыделения по сечению ТВС.....	46
3.5 Методы снижения запаса реактивности.....	48
3.6 Определение длительности кампании и нуклидного состава ядерного топлива в модели одиночного ТВЭЛА.....	51
Вывод.....	55
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	56
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	57
4.1.2. SWOT-анализ.....	59
4.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	61
4.2.1 Инициация проекта.....	61

4.2.2 План проекта.....	62
4.3 Бюджет научного исследования.....	65
4.3.1 Расчёт материальных затрат.....	65
4.3.2 Основная заработная плата.....	67
4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	68
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	69
4.3.5 Накладные расходы.....	69
4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	70
4.3.7 Реестр рисков проекта.....	71
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	71
4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	71
Вывод.....	75
5 Социальная ответственность.....	76
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	76
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих.....	78
5.2.1 Организационные мероприятия.....	78
5.2.2 Технические мероприятия.....	78
5.2.3 Условия безопасной работы.....	81
5.3 Электробезопасность.....	83
5.4 Пожарная и взрывная безопасность.....	84
Заключение.....	87
Список литературы.....	88
Приложение А.....	91
Приложение В.....	93

Введение

Возрождение перспектив ядерной энергетики в современное время определяется несколькими факторами.

Первым было осознание масштаба прогнозируемого роста спроса на электроэнергию во всем мире, особенно в быстро развивающихся странах. Во-вторых, осознание важности энергетической безопасности - первостепенное значение для каждой страны, обеспечившей доступ к доступной энергии, и особенно к распределяемой электроэнергии, способной удовлетворить спрос в любое время. В-третьих, была необходимость ограничить выбросы углерода из-за опасений по поводу изменения климата. Эти факторы совпали с наличием ядерных энергетических реакторов нового поколения.

Развитие крупномасштабной ядерной энергетики определяет необходимость анализа действующих в настоящее время проектов ядерных реакторов и необходимость поиска и разработки реакторов нового поколения. В перспективе в мире будет функционировать несколько типов реакторов. Принимая во внимание экономические факторы можно отметить, что реакторы ВВЭР будут играть важную роль в ядерной промышленности.

Основными отличительными особенностями ВВЭР по сравнению с другими реакторами являются:

- горизонтальные парогенераторы;
- шестиугольные тепловыделяющие сборки;
- высокопроизводительные устройства стабилизации давления.

Цепная реакция деления контролируется регулирующими стержнями, которые изготовлены из поглощающего нейтроны материала. В случае возникновения чрезвычайной ситуации остановка реактора может быть выполнена путем полного ввода стержней аварийной защиты в активную зону.

В настоящее время усовершенствование реакторов ВВЭР ведется в направлении повышения глубины выгорания ядерного топлива. Высокая глубина выгорания обеспечивается более длительным топливным циклом. Удлинение кампании реактора возможно путем повышения начального

обогащения топлива, что приводит к необходимости компенсации высокой избыточной реактивности в начале топливных циклов. Для обеспечения компенсации избыточной реактивности, а также регулирования жёсткости спектра нейтронов в течение кампании, используется выгорающий поглотитель [1].

В принципе можно выбрать такую скорость выгорания поглотителя, что система будет критична в любой момент работы реактора без какого-либо вмешательства извне. Это дало бы возможность значительно уменьшить запас реактивности, который необходимо гасить системой регулирования, выровнять поле тепловыделения и увеличить удельную мощность установки. Скорость выгорания поглотителя определяется его сечением захвата нейтронов и характером размещения в активной зоне реактора.

В настоящее время в реакторах типа ВВЭР-1000 выгорающий поглотитель применяется в виде окиси гадолиния, равномерно размещенной с двуокисью урана в элементах реактора, называемых твэгами. В настоящей работе рассмотрено применение выгорающего поглотителя в виде других материалов (эрбий, бор), которые могут не только подмешиваться в твэлы, но и в виде проволоки размещаться в центральных осевых отверстиях твэлов или в виде диборида циркония напыляться на поверхность твэлов. Рассмотрение таких альтернативных существующему способов применения выгорающего поглотителя и определяет научную новизну и актуальность данной работы.

Практическая значимость работы определяется тем, что применение альтернативных выгорающих поглотителей и их комбинаций может позволить более существенно выравнивать распределение энерговыделения по активной зоне ядерных реакторов и уменьшить их начальный запас реактивности.

Целью настоящей работы является анализ влияния альтернативных выгорающих поглотителей и способов их размещения в ядерных реакторах на снижение начального запаса реактивности и выравнивание распределения энерговыделения в ядерном реакторе.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- Проведение аналитического обзора литературных источников по реактору ВВЭР-1000 и использованию выгорающего поглотителя.
- Изучение особенностей расчета ядерного реактора с помощью программы WIMS-D5.
- Создание расчетной модели реактора в виде одиночного ТВЭЛ с прилегающим водяным замедлителем.
- Создание расчетной модели ТВС реактора ВВЭР-1000.
- Оценка влияния выгорающего поглотителя на нейтронно-физические характеристики реактора ВВЭР-1000.

1. Конструкционные особенности ЯЭУ с реактором ВВЭР-1000

1.1 ВВЭР-1000

ВВЭР-1000 - российский реактор III поколения, вырабатывающий 1000 МВт электроэнергии. Реактор поколения III - это реактор поколения II с эволюционными усовершенствованиями в области топливной технологии, модульной конструкции, систем безопасности и стандартизированных конструкций. Проектом, выбранным для исследования, был реактор типа ВВЭР-1000.

1.1.1 Основные конструктивные решения ВВЭР

Процесс деления и выработка тепловой энергии происходят в активной зоне реактора. Реактор, парогенераторы и циркуляционные насосы, соединенные последовательно между собой трубопроводами, образуют циркуляционные петли и совместно с компенсатором давления формируют первый контур реакторной установки. Съем тепла от топлива и передача его парогенераторам обеспечивается с помощью теплоносителя при его циркуляции в первом контуре. Теплоносителем служит легкая вода, являющаяся одновременно и замедлителем нейтронов. Реакторы ВВЭР, несмотря на различия их модификаций, имеют общие конструктивные решения [2]:

- реактор представляет собой вертикальный сосуд высокого давления, внутри которого размещаются шахта с выгородкой, блок защитных труб, активная зона и органы регулирования, соединенные со штангами блоков перемещения приводов;

- на фланец корпуса установлена крышка реактора с приводами, перемещающими органы регулирования по высоте активной зоны. Данная конструкция образует верхний блок реактора;

- активная зона собирается внутри шахты реактора из шестигранных кассет. В нижней части кассеты закрепляются в днище шахты. В верхней части

они содержат подпружиненную головку, через которую поджимаются в активной зоне блоком защитных труб;

– кассеты представляют собой конструктивно оформленные пучки твэлов. Все твэлы закрепляются в нижней опорной решетке, а с помощью дистанционирующих решеток, равномерно размещенных по высоте кассеты, фиксируются в узлах регулярной треугольной сетки. В кассетах предусматриваются возможности для перемещения органов регулирования, установки выгорающих поглотителей и размещения нейтронных и температурных датчиков системы внутриреакторного контроля;

– ТВЭЛ представляет собой оболочку в виде трубки из циркониевого сплава, герметизированную концевыми деталями и заполненную таблетками топлива. В качестве топлива используется обогащенная изотопом ^{235}U спеченная двуокись урана с плотностью не ниже 95% теоретической. Таблетки выполнены с центральным отверстием для понижения максимальной температуры топлива.

Общими для ВВЭР являются также способы управления цепной ядерной реакцией с использованием борной и механической систем управления и защиты.

Борная система обеспечивает управление за счет изменения концентрации борной кислоты в теплоносителе в результате подачи в первый контур концентрированного раствора борной кислоты или чистого конденсата по линии подпитки-продувки с помощью подпиточных насосов, либо подачи борного раствора системами безопасности.

Механическая система обеспечивает управление за счет перемещения в активной зоне с рабочей скоростью твердых поглотителей нейтронов или их сброса и введения в активную зону под действием силы тяжести.

1.1.2 Реакторы ВВЭР-1000

Реакторы ВВЭР-1000 занимают на сегодня ведущее место в атомной энергетике России среди тепловых реакторов и призваны сохранить свое лидерство на ближайшую перспективу.

В целях поддержания высокой конкурентной способности проектов ВВЭР-1000 проводится их постоянное совершенствование, где, кроме достижения максимальной экономичности топливных циклов, во главу угла ставится выполнение возрастающих требований ядерной безопасности [3]. Главными задачами нейтронно-физического проектирования для ВВЭР-1000 становятся разработка и обоснование топливных циклов на сверхглубокие выгорания топлива порядка 65-70 МВт·сут/кг U и разработка удлиненных топливных циклов, рассчитанных на работу с повышенными КИУМ.

Схема реактора ВВЭР-1000 (проект В-392) в сборе показана на рисунке 1.1.

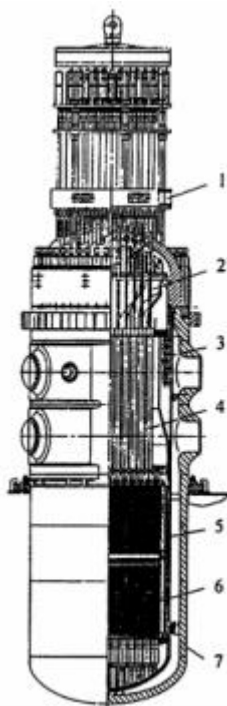


Рисунок 1.1 – Реактор ВВЭР-1000: 1 – блок верхний; 2 – блок защитных труб; 3 – шахта внутрикорпусная; 4 – канал измерения нейтронного потока и температуры; 5 – выгородка; 6 – зона активная; 7 – корпус.

Корпус реактора состоит из нескольких кованных оболочек, приваренных друг к другу, эллиптической нижней головкой и фланцем. Вода подводится и отводится из реактора по четырем трубопроводам диаметром 850 мм.

Оболочка твэла отделена от топливного сердечника зазором.

Внутренние элементы реактора выполнены из коррозионностойких сталей аустенитной марки. Верхняя часть корпуса реактора включает в себя эллиптическую верхнюю головку с фланцем и каналами, в которых расположены поглощающие элементы системы СУЗ.

Регулирование мощности реактора и подавление цепной реакции деления осуществляется двумя системами регулирования реактивности, основанными на разных принципах:

- Использование твердых поглотителей - система управляющих стержней (система контроля и защиты - CPS);
- Впрыск жидкого поглотителя - система регулирования бора.

Стержни управления используются для изменения реактивности в режимах маневрирования и для остановки реактора в нормальных и аварийных условиях эксплуатации. Регулирование бора используется для медленных изменений реактивности. Концентрация бора изменяется в течение кампании реактора.

Теплоноситель нагревается во время его протекания в тепловыделяющих сборках за счет энергии ядерного деления в топливе. Теплоноситель поступает в реактор через входные патрубки, проходит кольцевой зазор между корпусом реактора и активной зоной и через перфорированную нижнюю пластину попадает в тепловыделяющие сборки, установленные в активной зоне реактора. Затем охлаждающая жидкость проходит через другую перфорированную пластину, входит в пространство между трубами блока защитных трубок, затем идет в кольцевой зазор между активной зоной и корпусом и через выпускные патрубки выходит из корпуса реактора.

Торцевой отражатель нейтронов образуется концевыми деталями кассет и водой. Радиальный отражатель (на рисунке 1.2) составляют железобетонные слои шахты с выгородкой, корпуса реактора и теплоносителя.

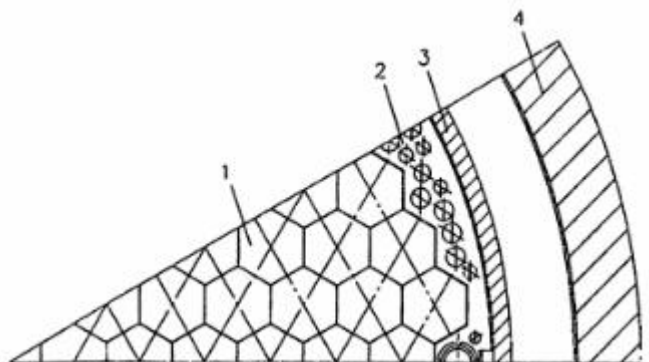


Рисунок 1.2 – Схема радиального отражателя реактора ВВЭР-1000: 1 - активная зона; 2 - выгородка; 3 - шахта; 4 - корпус (под наплавкой).

Четыре главных циркуляционных насоса - это вертикальные центробежные насосы с механическими уплотнениями вала, каждый из которых приводится в движение вертикальным электродвигателем с воздушным охлаждением.

Вращающаяся часть главных циркуляционных насосов имеет значительную инерцию вращения, и в случае потери энергоснабжения двигателя скорость снижения потока охлаждающей жидкости соответствует снижению мощности реактора, вызванному отключением реактора. После полной остановки основных циркуляционных насосов охлаждение активной зоны обеспечивается естественной циркуляцией.

1.1.3 Активная зона ВВЭР-1000

Активная зона ядерного реактора — пространство, в котором происходит контролируемая цепная реакция деления ядерного топлива, состоящего из тяжелых изотопов ядра урана или плутония.

Активная зона ВВЭР-1000 состоит из тепловыделяющих сборок (ТВС), имеющих шестиугольную форму и расположенных по треугольной решетке с постоянным шагом около 236 мм. Количество тепловыделяющих сборок в

активной зоне зависит от их размера и номинальной мощности реактора. Максимальный размер топливной сборки ограничен требованиями ядерной безопасности, чтобы исключить возможность возникновения критической массы, а минимальный размер топливной сборки ограничен соображениями экономической эффективности.

Таблица 1.1 Основные характеристики активной зоны реактора ВВЭР-1000 [4]

Общее количество тепловыделяющих сборок в активной зоне	163
Количество тепловыделяющих сборок с управляющими стержнями	61
Высота активной зоны (в холодном состоянии)	3,53м
шаг между тепловыделяющими сборками	0,236м
Расход охлаждающей жидкости через активную зону	17650 кг / с
Тепловая мощность реактора	3000 мВт

На рисунке 1.3 представлен в плане вид активной зоны ВВЭР-1000 и конфигурация топливной сборки.

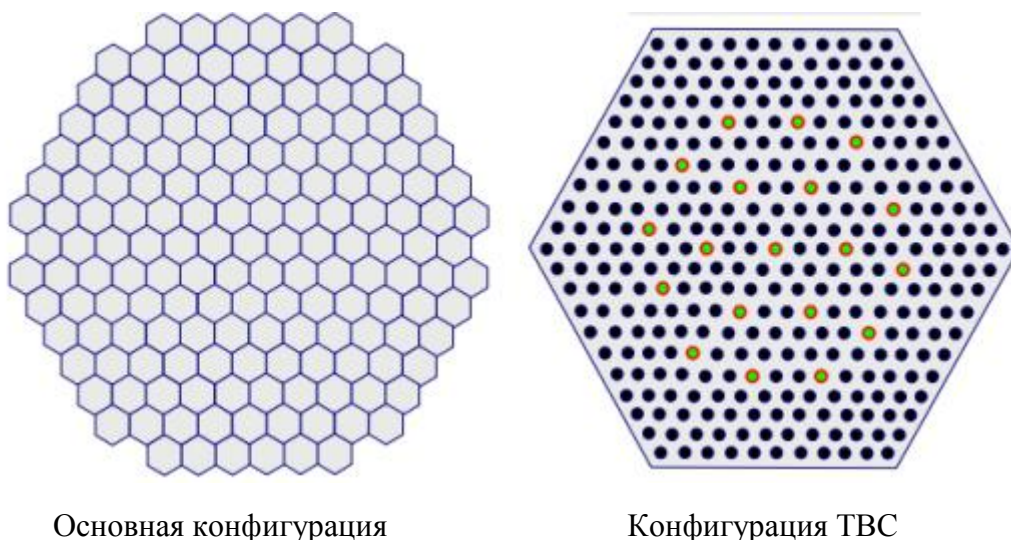


Рисунок 1.3 – Вид активной зоны ВВЭР-1000 и конфигурация топливной сборки.

Топливная сборка для ВВЭР-1000 состоит из регулярной сетки топливных стержней. В определенных ячейках топливные стержни заменяются нетопливными элементами, например, поглощающими элементами управляющих стержней (всего 18) или стержнями с выгорающими поглотителями (ТВЭгами).

Основные характеристики топливной сборки ВВЭР-1000:

- количество топливных стержней - 312,
- шаг между топливными стержнями - 12,75 мм,
- количество направляющих каналов для элементов поглотителя - 18,
- длина активной части ТВС - 3530 мм,
- количество дистанционирующих решеток - 14.



Рисунок 1.4 – Схематическое изображение основных элементов ТВС

Таблица 1.2 Основные характеристики твэла ВВЭР-1000:

Топливный стержень диаметром	9,1 мм
толщина оболочки	0,69 м
Материал облицовки сплавом	Zr-110
диаметр топливной части	7,53 мм
Топливный материал	UO ₂
диаметр центрального отверстия в топливной таблетке	2,3 мм
плотность топлива	10,4 г/см ³

1.1.4 Центральная сборка

Центральная сборка предназначена для установки и крепления в ней технологических каналов, петлевого канала или петлевого канала с вытеснителем, подвижных стержней системы компенсации реактивности и канала источника. В центральной сборке расположены также части бокового и торцевого отражателей. Центральная сборка совместно с крышкой корпуса

реактора обеспечивает фиксацию (дистанционирование) каналов в пределах заданной решетки [5].

Центральная сборка представляет собой сборно-сварную конструкцию цилиндрической формы с максимальным наружным диаметром 603 мм и высотой 4585 мм. Основными узлами ее являются железо-водная защита, вытеснитель в сборе и 12 подвижных стержней.

Железо-водная защита наряду с торцевыми экранами корпуса реактора, заполненными водой, является составной частью биологической защиты и обеспечивает благоприятную радиационную обстановку в подреакторном помещении. Она состоит из нижней плиты, являющейся основанием сборки и одновременно закрывающей отверстие в горловине днища корпуса реактора, 27 плит с отверстиями для прохода воды и размещения ТК и петлевого канала и 12 механизмов вращения, обеспечивающих перемещение по высоте подвижных стержней СКР.

Основной конструкционный материал ЖВЗ - сталь марки 08X18H10T.

Вытеснитель в сборе состоит из верхней и нижней решеток, изготовленных из титанового сплава, центрального и бокового вытеснителей, блоков торцевого отражателя, 24 межканальных вытеснителей, изготовленных из бериллия и ряда крепежных элементов, изготовленных из стали марки 08X18H10T, циркониевого и титанового сплавов. Центральный и боковой вытеснители - это толстостенные сложной геометрической формы кольца из бериллия, устанавливаемые между нижней и верхней решетками. Наличие центрального вытеснителя позволяет получить “всплеск” нейтронного потока в петлевом канале. Боковой вытеснитель является частью бокового отражателя активной зоны. И боковой, и центральный вытеснители охлаждаются водой, проходящей по вертикальным отверстиям, расположенным по всей высоте вытеснителей; внутри отверстий для обеспечения требуемой скорости движения воды установлены стержни различной геометрической формы.

К верхней решетке с помощью специальных шпилек подвешены межканальные бериллиевые вытеснители.

На нижней решетке расположены различной формы блоки, являющиеся торцевым отражателем. В блоках центрируются нижней частью межканальные вытеснители.

Для компенсации возможных неточностей в расчетах, а также изменений реактивности в процессе эксплуатации реактора, в центральной сборке имеется система СКР, состоящая из 12 подвижных стержней, расположенных в центральном вытеснителе. Каждый подвижный стержень состоит из бериллиевой втулки с установленными в нее стержнями-вытеснителями, циркониевого кожуха, необходимого для обеспечения требуемой скорости воды, охлаждающей стержень, при различных его положениях по высоте, ходового винта и механизма вращения. Соединение подвижного стержня с ходовым винтом осуществляется с помощью шарнира.

Изменение реактивности с помощью подвижных стержней производится путем их перемещения по высоте при вращении в ручную вала механизма. Эти работы проводятся при проведении физического пуска реактора, находящегося в заведомо подкритическом состоянии.

В составе центральной сборки имеется также 9 ячеек (в центральном и межканальном вытеснителях), позволяющих устанавливать в каждую из них малогабаритные экспериментальные устройства до 8 мм диаметром.

Пять указанных ячеек заняты кассетами с образцами-свидетелями, изготовленных из тех же материалов и скомплектованных в тех же сочетаниях, что и в отражателе и центральной сборке. По результатам обследований образцов, периодичность которых не реже 1 раза в 1,5 года, выдаются заключения о состоянии узлов и деталей, входящих в состав отражателя и центральной сборки.

В одну из ячеек установлена термopа, измеряющая температуру воды под крышкой корпуса реактора.

В остальные ячейки установлены «сухие» гильзы, позволяющие разместить в них различные детекторы при проведении физических пусков и исследований.

Крепление указанных кассет, термопары и гильз производится в нижней плите центральной сборки.

Назначение указанных ячеек в зависимости от целей и задач исследований может меняться. В частности, в них могут устанавливаться измерители мощности (датчики прямой зарядки) в пределах указанного диаметра для сопоставления с показаниями ионизационных камер, входящих в состав СУЗ, с целью более точного контроля за уровнем мощности реактора [6].

1.2 Использование выгорающего поглотителя в реакторе ВВЭР-1000

1.2.1 Топливные сборки с выгорающими поглотителями

Выгорающие поглотители (также известные как выгорающие яды) представляют собой материалы с высоким сечением поглощения нейтронов, которые при поглощении нейтронов в результате радиационного захвата преобразуются в материалы с относительно низким сечением поглощения [7]. Из-за выгорания поглощающего нейтроны материала отрицательная реакционная способность выгорающего поглотителя уменьшается, высвобождая реактивность реактора. В идеальном случае эти поглотители должны уменьшить свою отрицательную реактивность с той же скоростью, с которой уменьшается запас реактивности при выгорании топлива.

В реакторе с водой под давлением выгорающие поглотители используются для уменьшения начальной концентрации борной кислоты и для снижения относительной мощности свежих топливныхборок. Выгорающие поглотители обычно используются в виде соединений бора или гадолиния, которые формируются в отдельные решеточные стержни или пластины или вводятся в качестве добавок к топливу. Поскольку они обычно могут быть распределены более равномерно, чем регулирующие стержни, эти поглотители меньше влияют на распределение энерговыделения (мощности).

Срок службы топливной сборки может быть увеличен за счет сочетания первоначально большего количества расщепляющегося материала, а также

расчетного количества поглощающего выгорающее поглотителя. На ранних этапах работы такой топливной сборки избыточные нейтроны поглощаются выгорающим поглотителем, который подвергается трансформации на нуклиды с низким нейтронным поперечным сечением, которые существенно не влияют на размножающую способность топливной сборки [7].

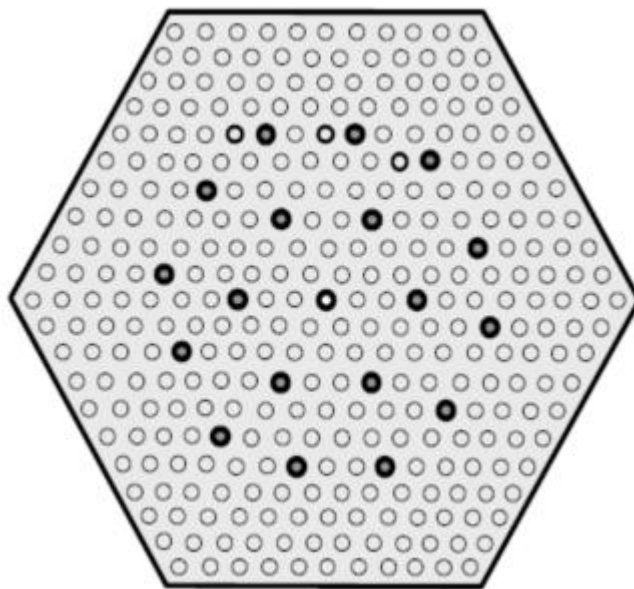


Рисунок 1.5 – Поперечное сечение ТВС реактора ВВЭР-1000.

Выгорающий поглотитель компенсирует в начале кампании реактора часть запаса реактивности. Постепенно его концентрация уменьшается, он меньше захватывает нейтроны и высвобождает реактивность в течение кампании реактора. Этим гарантируется более долгий срок службы при относительно постоянном уровне мощности.

С топливной сборкой, содержащей как расщепляемый материал, так и выгорающий поглотитель в тщательно распределенном количестве, можно обеспечить увеличенный срок службы топливного элемента с относительно постоянным образованием нейтронов и реакционной способностью.

Традиционно используемые выгорающие поглотители включают бор, гадолиний, самарий, европий и другие редкоземельные элементы, которые при поглощении нейтронов приводят к изотопам с достаточно низким сечением захвата нейтронов и становятся прозрачными для нейтронов [7].

Таким образом, включение выгорающих поглотителей в топливные сборки было признано эффективным средством увеличения длительности работы расщепляющегося материала и позволяет тем самым продлить длительность кампании реактора. Выгорающие поглотители используются либо в виде гомогенной смеси с расщепляемым материалом, либо размещаются гетерогенно в виде отдельных элементов в активной зоне реактора. Таким образом, чистая реакционная способность активной зоны реактора поддерживается относительно постоянной в течение кампании реактора.

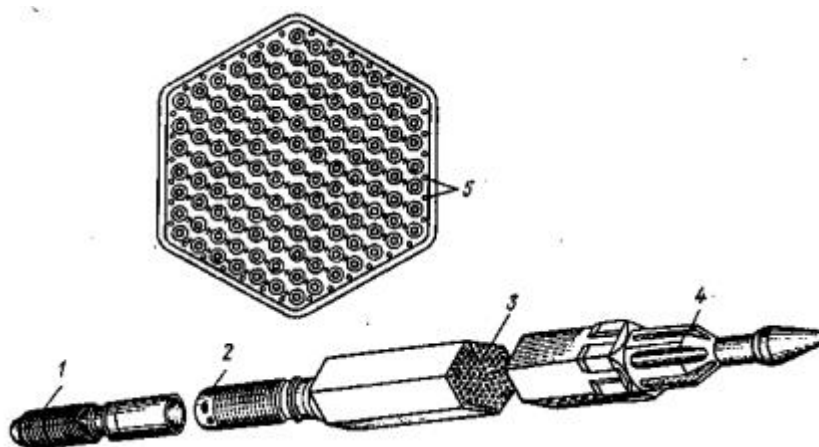


Рисунок – 1.6 Схема сборки твэлов в шестигранный чехол и общий вид ТВС: 1 – хвостовик; 2 – калиброванные отверстия; 3 – пучок твэлов; 4 – головка; 5 – проволочные вытеснители [8].

Использование выгорающих поглотителей либо непосредственно с расщепляющимся материалом, либо в виде отдельные элементы в активной зоне реактора имеет свои ограничения на продление кампании реактора [8]. Например, ядерные реакторы, используемые для выработки электроэнергии, как правило, были разработаны для двенадцатимесячных циклов работы перед замены делящегося материала (кампаний реактора). В конце кампании реактора необходимо производить его перегрузку для замены части ТВС с выгоревшим топливом на свежие, чтобы продлить рабочий цикл реактора еще на двенадцать месяцев.

Процесс замены расщепляющихся материалов (перегрузки) очень трудоемкий, вследствие чего возникла необходимость в разработке средств, с

помощью которых рабочий цикл (кампания) этих ядерных реакторов могла бы быть увеличена до, например, восемнадцати месяцев.

1.2.2 Конструктивные и технологические решения проблемы использования выгорающих поглотителей

Выгорающие поглотители могут вводиться в ядерные реакторы в виде сплавов, различных химических соединений или в виде химических соединений, диспергированных в матрице из какого-либо материала.

Основные технологические и конструктивные проблемы, возникающие при использовании выгорающих поглотителей, следующие [9]:

- При введении в реактор выгорающего поглотителя необходимо обеспечить высокую точность его дозировки. Поэтому изготовление сплавов, содержащих выгорающий поглотитель, связано с затруднениями в отношении точного выдерживания допусков на содержание выгорающего компонента.

- Сплавы элементов, используемых в качестве выгорающих поглотителей, со многими металлами имеют низкую коррозионную стойкость. Поэтому необходимо обеспечить коррозионную стойкость дисперсионных систем, содержащих бор. Кроме того, такие сплавы и дисперсии должны обладать определенными механическими характеристиками, обеспечивающими возможность механической обработки.

- Сплавы, содержащие выгорающий поглотитель, могут иметь пониженную прочность и пластичность, плохо поддаваться механической обработке. При выгорании поглотителя и превращении его в другие элементы в значительной степени изменяются свойства сплава.

- Специфическая проблема возникает, когда в качестве выгорающего поглотителя используется бор. В результате реакции с нейтронами (n , α) он превращается в литий и гелий. Под действием образующегося газа возможно растрескивание материалов, содержащих бор.

- В случае введения выгорающего поглотителя в горючее создаются дополнительные трудности при регенерации отработавшего горючего.

– Если материалы, содержащие выгорающие поглотители, имеют плохую коррозионную стойкость, то они должны быть ограждены от контакта с теплоносителем путем заключения в коррозионностойкую оболочку, которая необходима также в том случае, если эти материалы хрупки и могут растрескиваться.

– При введении выгорающего поглотителя в конструкционные детали тепловыделяющих сборок необходимо решить вопросы конструирования этих деталей и их размещения. Такими деталями могут являться ленты, шайбы, стержни и чехлы ТВС.

– При реакции выгорающих поглотителей с нейтронами выделяется тепло, которое необходимо отводить.

– При введении выгорающего поглотителя в реактор путем растворения его в теплоносителе необходимо разработать методы изменения концентрации раствора и выведения продуктов, получающихся в результате выгорания поглотителя.

Как упоминалось, во многих случаях в качестве выгорающего поглотителя применяется бор. Он используется в виде сплавов или в виде химических соединений (B_4C , ZrB_2 и др.), диспергированных в различных материалах.

В последнее время более широко в качестве выгорающего поглотителя реакторов типа ВВЭР применяется окись гадолиния в виде гомогенной смеси с двуокисью урана. Такие топливные элементы называются ТВЭгами.

1.2.3 Некоторые особенности реакторов с выгорающим поглотителем

Основной задачей при рассмотрении изменения реактивности системы с выгорающим поглотителем является расчет захвата нейтронов.

Рассмотрим для простоты захват только тепловых нейтронов. Тогда долю захвата нейтронов в поглотителе можно записать в виде

$$q_T^{B.П} = f_T \frac{N_{B.П} \cdot \sigma_{ct}^{B.П}}{N_{Г} \sigma_{ct}^Г}, \quad (1.1)$$

где f_T – отношение средних плотностей тепловых нейтронов и выгорающем поглотителе в горючем (экранировка); $N_{B.П}$, $N_{Г}$ – число ядер поглотителя и горючего соответственно; $\sigma_{ct}^{B.П}$, $\sigma_{ct}^Г$ – микроскопические сечения захвата выгорающего поглотителя и горючего соответственно, усредненные по спектру тепловых нейтронов.

Расчет существенно упрощается, если поглотитель и горючее находятся в одинаковом потоке нейтронов. Кроме того, если их сечения захвата подчиняются одному закону, то нет необходимости детального знания спектра нейтронов.

При расчете величины $q^{B.П}$ для заблокированного поглотителя задача существенно усложняется из-за неоднородности спектра и распределения плотности нейтронов по элементарной ячейке. Поэтому здесь трудно избежать ряда упрощений, которые определяются в каждом конкретном случае в зависимости от геометрии и состава активной зоны. В тех случаях, когда используется предположение однородности спектра нейтронов по эквивалентной ячейке, задача сводится только к нахождению распределения плотности нейтронов.

Величина эффективного захвата нейтронов $1/f_T$, для одиночного блока в приближении односкоростного уравнения Больцмана может быть представлена в виде [10]

$$1/f_T = 1 + \sum_{i=1}^{i=\infty} a_i (2t \sum_{П}^{B.П})^i, \quad (1.2)$$

где a_i – коэффициенты, зависящие от свойств и геометрии наружной среды, быстро убывающие с ростом i ; t – толщина, радиус или другой характерный размер блока; $\sum_{П}^{B.П}$ – полное сечение в поглотителе. Используя обычную диффузионную теорию, а также методы нахождения эффективных граничных условий, можно найти эффективный захват $f_T N_{B.П} \cdot \sigma_{ct}^{B.П}$ в блоке, помещенном в рассеивающую среду.

При использовании диспергированного выгорающего поглотителя макроскопическое сечение блока должно учитывать экранировку по отдельным частицам, т. е.

$$\sum_c^{макр} = f_r \sum_c^r, \quad (1.3)$$

где $\sum_c^{макр}$ – макроскопическое сечение по блоку с учетом экранировки частиц; $\sum_c^r$ – макроскопическое сечение по блоку без учета экранировки частицы; f_r – экранировка частицы.

1.3 Расчет физических характеристик реактора

При расчете нейтронно-физических характеристик реактора ВВЭР-1000 обычно используется система уравнений баланса нейтронов, которая решается на крупной трехмерной гексагональной в плане сетке, узлы которой совпадают с центрами ТВС [11]. Уравнение баланса нейтронов эффективно использует 7 узлов в поперечном сечении ТВС (в центре и по углам). Учет перетечек тепловых нейтронов выполняется в приближении двух полупространств. Расчет коэффициентов реактивности и других параметров точечной кинетики производится на основе теории возмущения в одногрупповом приближении.

Исходной информацией является геометрия активной зоны, тепловая мощность реактора, входная температура, плотность и расход теплоносителя, размеры, типы и размещение в активной зоне рабочих ТВС, распределение выгорания топлива, а также концентраций прометия и самария по высоте рабочих ТВС, библиотеки коэффициентов аппроксимации многопараметрических зависимостей двухгрупповых нейтронных сечений, коэффициентов диффузии ТВС и их производных, боковых и торцевых отражателей, используемый в расчетах сектор симметрии реактора, количество принимаемых расчетных слоев по высоте активной зоны, тип решаемой задачи, формат печати результатов и др [12].

Уравнение баланса нейтронов решается в двухгрупповом диффузионном приближении.

Исходная система уравнений для определения потока замедляющихся нейтронов Φ и потока тепловых нейтронов Φ_T имеет вид [13]:

$$\begin{aligned} -\operatorname{div} D \cdot \operatorname{grad} \Phi + \sum_R \Phi &= \frac{1}{K_{\text{эф}}} \left[(v \sum_f) \Phi + (v \sum_f)_T \Phi_T \right] \\ -\operatorname{div} D \cdot \operatorname{grad} \Phi_T + \sum_{AT} \Phi_T &= \sum_{VB} \Phi. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Обозначения величин являются общепринятыми. В рассматриваемой области активной зоны уравнения дополняются условиями непрерывности потока и диффузионного тока замедляющихся и тепловых нейтронов, а также граничными условиями, связывающими токи и потоки нейтронов на границах активной зоны:

Уравнение решается для активной зоны, состоящей из шестигранных топливных кассет. Нейтронно-физические сечения Σ_{AT} , Σ_R и коэффициент K вычисляемый на основе этих сечений, предполагаются постоянными в пределах отдельных выделенных объемов кассет.

Расчет поля энергосвечения

Средние по каждой из расчетных ячеек относительные энергосвечения определяются, как [14]:

$$\bar{\Psi} = E_f \left(\sum_f \bar{\Phi}(\vec{r}) + \sum_f^T \bar{\Phi}^T(\vec{r}) \right). \quad (1.5)$$

Коэффициенты реактивности

На основе теории возмущения первого порядка определено следующее выражение для коэффициентов реактивности:

$$\frac{\frac{1}{K_{\text{эф}}} \int_{Va.з.} \frac{d\tilde{\mu}^2}{dx} \Phi^2 dV + \left(\frac{1}{M_{\Phi}^2} \right)^2 \frac{dM_{\Phi}^2}{dx} \left(1 - \frac{1}{K_{\text{эф}}} \right) \int_{Va.з.} \Phi^2 dV + \int_{Sa.з.} \frac{1}{d_{\text{эф}}^2} \frac{dd_{\text{эф}}}{dx} \Phi^2 dS}{\frac{1}{M_{\Phi}^2} \int_{Va.з.} K_{\Phi} \Phi^2 dV} \quad (1.6)$$

где $\tilde{\mu}^2$ – материальный параметр критической однородной решетки; $\tilde{\mu}^2 = \mu^2 K_{эф} + \frac{K_{эф} - 1}{M_{\Phi}^2}$; $S_{a.z.}$ – поверхность активной зоны с учетом поверхности поглотителей.

Входящие в выражение производные материального параметра, площади миграции и логарифмических производных по отдельным технологическим параметрам X определяются для каждого сорта кассеты в виде функции от параметров $\rho_{ш}$, C_v , Δt , ρ_{Xe} , ρ_{Sm} .

Отравление на ксеноне и самарии

Расчет нестационарного отравления реактора ксеноном и самарием производится на основе решения следующей системы дифференциальных уравнений для концентраций ядер поглотителей ρ_{ij} ($i=J$, Pm – иод, прометий, $j=Xe$, Sm – ксенон, самарий):

$$\begin{aligned} \frac{dp_i}{dt} &= \gamma_i \cdot \sum_f \Phi - \lambda_i \cdot \rho_i; \\ \frac{dp_j}{dt} &= \gamma_i \cdot \sum_f \Phi + \lambda_i \cdot \rho_i - \sigma_i \cdot \Phi \cdot \rho_j - \lambda_i \cdot \rho \end{aligned} \quad (1.7)$$

где γ_{ij} – выход ядер-поглотителей на деление, λ_{ij} – постоянная распада, 1/с;

$$\sum_f \Phi = \sigma^{***} \cdot \frac{\psi \cdot B}{K_{\Phi}}. \quad (1.8)$$

Здесь $B=W/E_f$, W – удельная мощность активной зоны.

При постоянном значении мощности системы (1.4) имеет аналитическое решение.

2. WIMSD5 – Расчет детерминированных многогрупповых реакторных решеток

Программа WIMS-D5 (Winfrith Improved Multigroup Scheme, версии D5) предназначена для нейтронно-физического расчета ячеек ядерных реакторов различного типа (включая расчет выгорания) [15].

WIMS - это общий код для расчета реакторной ячейки в широком диапазоне реакторных систем. В частности, код может работать в цилиндрической геометрии стержневого или в плоской геометрии пластинчатого топлива либо в регулярных массивах стержневых кластеров, а структура энергетических групп может быть выбрана главным образом для тепловых расчетов.

Эта программа используется для расчета нейтронно-физического расчета ячеек тепловых и быстрых реакторов (включая расчет выгорания) различных типов. Программа WIMS используется при проектировании реакторов, расчета и анализа различных эффектов в существующих реакторах.

Базовая библиотека была составлена из 14 быстрых групп, 13 резонансных групп и 42 тепловых групп, но пользователю предлагается выбор точных решений во многих группах или быстрых вычислений в нескольких группах [16]. Температурно-зависимые матрицы теплового рассеяния для различных законов рассеяния включены в библиотеку для основных замедлителей, которые включают водород, дейтерий, графит, бериллий и кислород.

Алгоритм программы представлен на рисунке 2.1.

Транспортный расчет может проводиться для различных геометрий: одиночный стержень, кластер, пластины и конечный цилиндр. На рисунке 2.1 на схеме обозначены следующие методы транспортного расчета [17]:

WDSN – разновидность метода дискретных ординат

PERSEUS – метод вероятности первых столкновений для кластера, с размещиванием областей, содержащих топливо

PIJ, PRIZE – методы вероятности столкновений для различных геометрий.

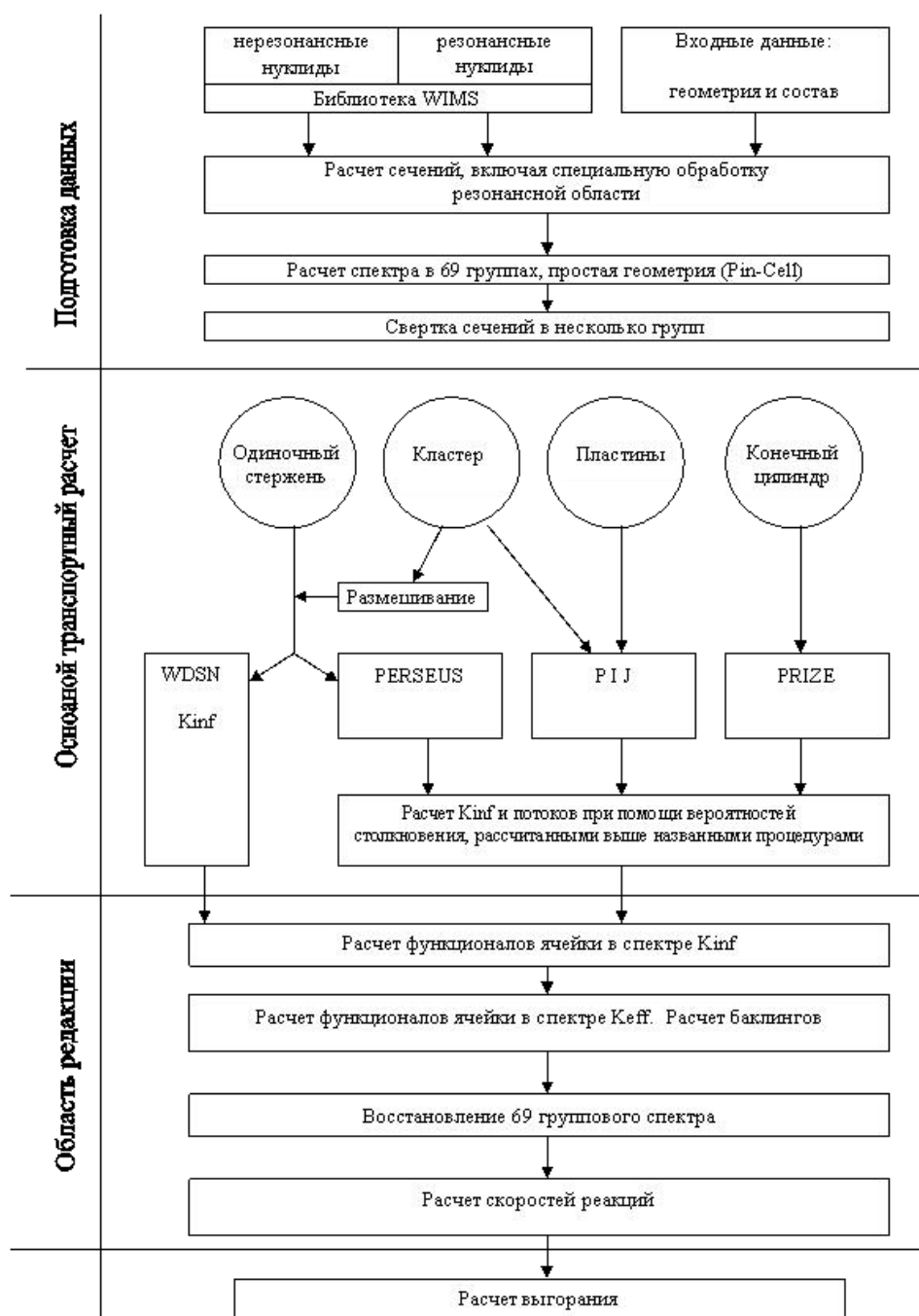


Рисунок 2.1 – Схема П/К WIMS – D5

Преимущества этой программы:

- требуемый объем ввода невелик. Входная информация вводится в довольно простой форме, позволяя пользователю выбирать различные физические модели в решении на разных этапах расчета;
- программа обеспечивает очень подробный вывод результатов, и вывод производится по частям.

Обработка резонансов основана на использовании теорем эквивалентности с библиотекой оцененных резонансных интегралов для

эквивалентных однородных систем при различных температурах. Процедура теории столкновений дает точные спектральные вычисления в 69 группах библиотеки для главных областей решетки с использованием упрощенного геометрического представления сложных ячеек решетки. Вычисленные спектры затем используются для конденсации поперечных сечений к числу групп, выбранных для решения уравнения переноса в подробной геометрии.

3 Расчетная часть

3.1 Расчетная модель с одиночным твэлом

Расчет ядерного реактора проводился с помощью программного комплекса WIMSD5 с учетом топлива и выгорающего поглотителя.

Расчетная модель с одиночным твэлом реактора ВВЭР-1000 представляет собой бесконечную по высоте элементарную ячейку, состоящую из твэла и окружающего его водяного теплоносителя. Реальная шестигранная ячейка при расчете заменяется на эквивалентную цилиндрическую, площадь поперечного сечения которой равна площади реальной ячейки. Для моделирования всего реактора на границе элементарной ячейки использовалось условие симметрии (входящий нейтронный поток равен исходящему).

Твэл ядерного реактора ВВЭР-1000 – это трубка заполненная таблетками двуокиси урана, которая герметично уплотнена концевыми деталями на сварке. В качестве материала для изготовления трубок твэл традиционно применяется рекристаллизованный сплав циркония с 1 % ниобия.

Расчет проводился в цилиндрической геометрии, для чего было выполнено преобразование реальной шестигранной элементарной ячейки к цилиндрическому виду. При определении внешнего радиуса такой ячейки исходили из условия сохранения площади ячейки. Расстояние между твэлами в реакторе ВВЭР-1000 составляет 1,275 см, поэтому внешний радиус цилиндризованной элементарной ячейки составил 0,6694 см [7]. Расчетная модель элементарной ячейки представлена на рисунке 3.1.

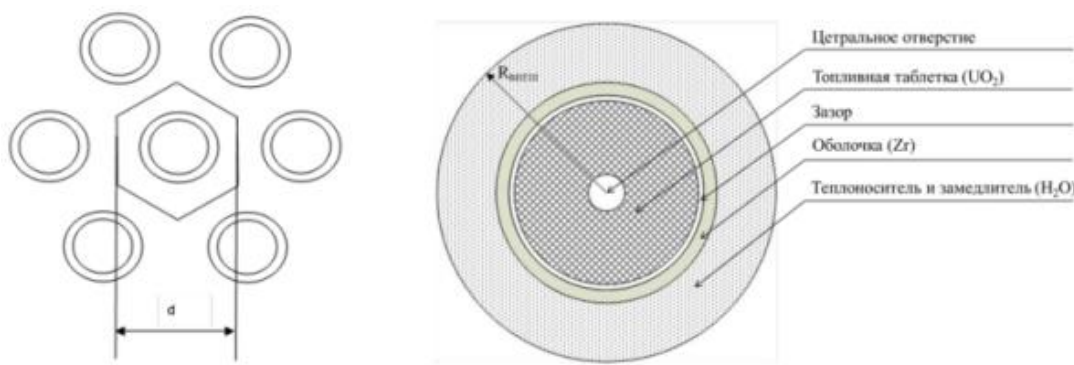


Рисунок 3.1 – Расчетная модель ячейки ВВЭР-1000

При проведении нейтронно-физических расчетов было максимально-возможное в настоящее время обогащение топлива по ^{235}U – 5 %, при котором может быть достигнута длина топливной кампании ~1300 эффективных суток.

Поведение k_{eff} было проанализировано как функция изменения температуры с использованием кода WIMSD5. Поведение активной зоны также анализировалось во время выгорания, при котором оценивались следующие параметры: эффективный коэффициент умножения, реакционная способность, температурный коэффициент топлива, температурный коэффициент замедлителя и спектр нейтронов.

Формула для расчета ядерных концентраций концентраций:

$$N_{изо} = \frac{N_A \cdot \rho \cdot n \cdot \omega\%}{A} \quad (3.1)$$

где ρ – плотность топлива; $N_A=0,6023$ – число Авогадро; A – атомная масса; $\omega\%$ - содержания изотопа в природном элементе; n - числа элемента в молекулах.

В таблице 3.1 приведены результаты расчета нуклидного состава топлива с гадолинием.

Таблица 3.1 – Расчетные концентрации топлива UO_2 с выгорающим поглотителем Gd_2O_3 (5%).

Топливо	Концентрация, 10^{24} см^{-3}
UO_2	-
^{235}U	0,001111
^{238}U	0,02414
O	0,05050
^{155}Gd	$9,111 \cdot 10^{-5}$
^{157}Gd	$9,634 \cdot 10^{-5}$

3.2 Расчет глубины выгорания при выгорающих поглотителях

Выгорающие поглотители обычно используются в виде соединений бора или гадолиния, которые формируются в отдельные элементы ТВС или вводятся в качестве добавок к топливу. Поскольку они обычно могут быть распределены более равномерно, чем регулирующие стержни, эти поглотители меньше искажают распределение мощности [18].

В качестве других альтернативных выгорающих поглотителей, которые могут быть использованы, можно отметить эрбий, самарий, европий и другие редкоземельные элементы, которые при поглощении нейтронов приводят образованию изотопов с достаточно низким сечением захвата нейтронов, чтобы быть по существу прозрачными для нейтронов.

Первоначально был проведён обзор зависимости запаса реактивности от энерговыработки при различном содержании разных выгорающих поглотителей.

На рисунке 3.2(а) показано влияние оксида гадолиния (Gd_2O_3), добавляемого в топливо (UO_2), на запас реактивности.

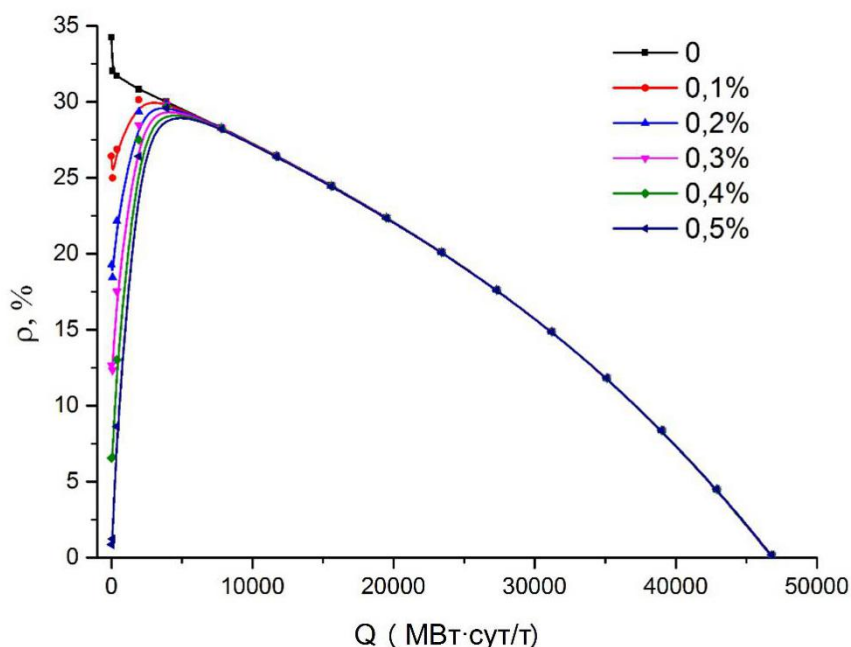


Рисунок 3.2(а) — Зависимость запаса реактивности от энерговыработки при различном содержании оксида гадолиния (Gd_2O_3) в топливе твэгов.

Увеличение содержания выгорающего поглотителя в диапазоне от 0 до 0.5% приводит к резкому снижению реактивности в начале кампании. Но уже при достижении глубины выгорания $\sim 500 \text{ МВт}\cdot\text{сут/тU}$ поглощающие изотопы гадолиния практически полностью выгорают и влияние гадолиния на запас реактивности исчезает. При содержании окиси гадолиния в топливе более 0.2 % в начале кампании происходит чрезмерно большое падение реактивности и очень большой рост реактивности за счет его выгорания, что является нежелательным для энергетического ядерного реактора. Полная энерговыработка реактора с таким топливом при этом не изменяется.

На рисунке 3.2(б) показано влияние карбида бора, добавляемого в топливо (UO_2), на запас реактивности.

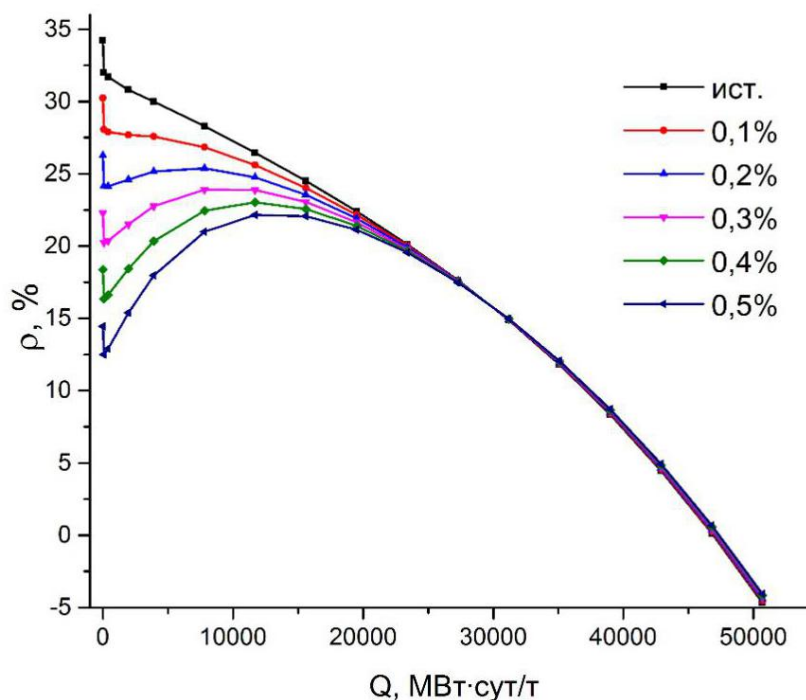


Рисунок 3.2(б) – Зависимость запаса реактивности от глубины выгорания топлива при различном содержании карбида бора (B_4C).

В отличие от гадолиния, бор имеет гораздо меньшее микросечение захвата нейтронов и выгорает, поэтому гораздо медленнее. В начальный момент кампании допустимое снижение запаса реактивности наблюдается при содержании карбида бора в топливе до 0.3 %. А полное выгорание бора (^{10}B) происходит при глубине выгорания топлива 20000 МВт·сут/тU. Если считать, что за время первой кампании реактора его топливо выгорает до значения

15000 МВт*сут/тU, то получается, что такой выгорающий поглотитель за время одной кампании полностью не выгорает. А одним из требований применения выгорающего поглотителя заключается в том, что он должен полностью выгорать за время одной кампании реактора и освобождать компенсируемую им реактивность. Поэтому применение карбида бора в виде гомогенной смеси с топливом отрицательно скажется на экономических показателях реактора.

На рисунке 3.2(в) показано влияние эрбия, добавляемого в топливо (UO_2), на запас реактивности. Эрбий с успехом применяется в виде выгорающего поглотителя в реакторе типа РБМК-1000.

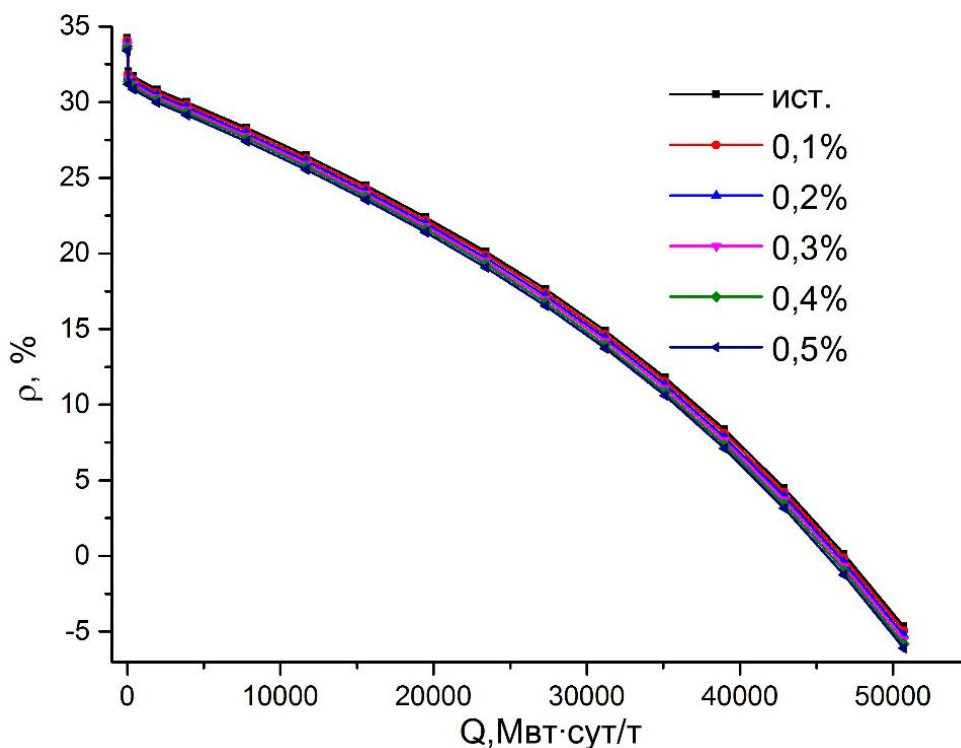


Рисунок 3.2 (в) – Зависимость запаса реактивности от глубины выгорания топлива при различном оксида эрбия (Er_2O_3).

Попытка использования эрбия в качестве выгорающего поглотителя в реакторе ВВЭР-1000 показала, что изменение его содержания в пределах от 0 до 0,5% практически не влияет на запас реактивности реактора ВВЭР-1000.

В таблице 3.2 приведены результаты сравнительного расчета влияния на запас реактивности реактора ВВЭР-1000 использования различных выгорающих поглотителей.

Таблица 3.2 – Расчетные значения запаса реактивности реактора ВВЭР-1000 при разных выгорающих поглотителях при обогащении топлива 5% по ^{235}U и с содержанием выгорающих поглотителей 0,5%.

Время работы, сут	ρ_{∞} (исходные), %	$\rho_{\infty}(\text{B}_4\text{C})$, %	$\rho_{\infty}(\text{Gd}_2\text{O}_3)$, %	$\rho_{\infty}(\text{Er}_2\text{O}_3)$, %
0	34.229	14.452	0.851	33.404
78	32.021	12.498	1.223	31.182
390	31.687	12.906	8.615	30.846
1950	30.811	15.383	26.402	29.959
3900	30.003	17.954	29.580	29.138
7800	28.29989001	20.98540679	28.21743799	27.40624698
11700	26.45842143	22.14815051	26.38555272	25.5316297
15600	24.49593486	22.06666729	24.43431528	23.53307768
19500	22.39429132	21.12289447	22.34469327	21.3914345
23400	20.12001169	19.54708225	20.08311356	19.07335757
27300	17.62950906	17.47384127	17.60602662	16.53555794
31200	14.8739837	14.96960163	14.86506965	13.72899517
35100	11.79884492	12.05474416	11.80514582	10.59990148
39000	8.347692195	8.719230394	8.37112261	7.093072302
42900	4.465657314	4.932934939	4.506345553	3.154171779
46800	0.122449876	0.676985666	0.1794773	-1.245286652
50700	-4.681054101	-4.048777234	-4.611363033	-6.100761984

На рисунке 3.3 показана зависимость запаса реактивности реактора ВВЭР-1000 от глубины выгорания топлива (UO_2 с обогащением в 5 %) при различных выгорающих поглотителях (0,5% ВП).

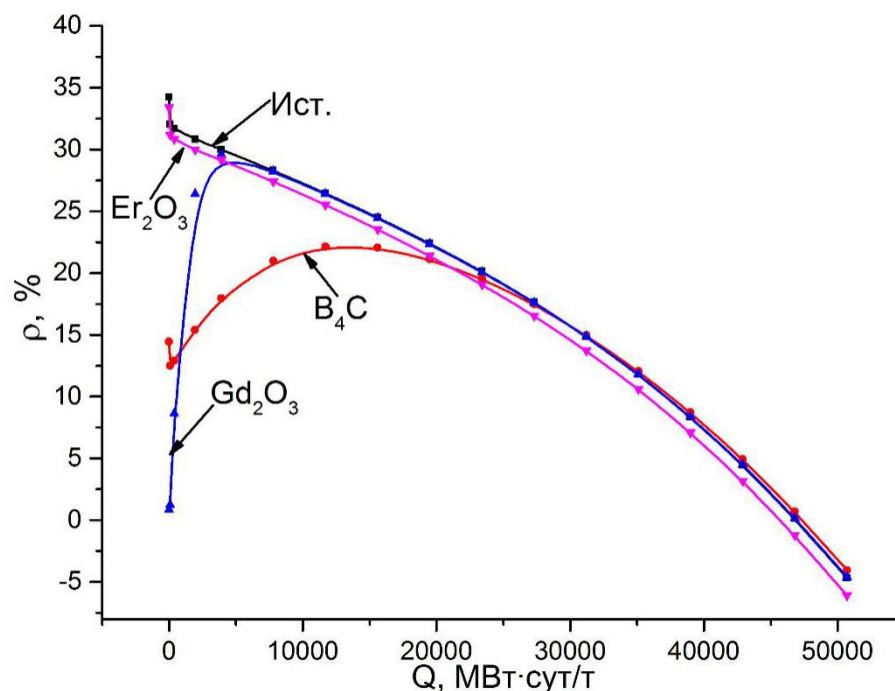


Рисунок 3.3 – Зависимость коэффициента размножения k_{∞} от глубины выгорания топлива для UO_2 с обогащением в 5 % при различном содержании выгорающих поглотителей (0,5% ВП).

Можно отметить, что при существующей длительности кампании (15000 МВт*сут/т) наилучшим выгорающим поглотителем для реактора типа ВВЭР-1000 является гадолиний. Но если увеличить длину кампании реактора, чтобы среднее значение глубины выгорания увеличилось до 20000 МВт*сут/т, тогда конкуренцию ему составит и бор.

Результаты расчетов показывают, что оптимальным для реактора ВВЭР-1000 является гадолиниевый выгорающий поглотитель. Максимальная глубина выгорания получена в топливной загрузке с концентрацией гадолиния 0,3% составляет 47000 МВт·сут/т, что на 5% больше чем в случае с борным поглотителем.

В реальных реакторах типа ВВЭР-1000 при перегрузках активной зоны количество свежих ТВС составляет ~25% от общего количества. Кроме того выгорающий поглотитель в этих свежих ТВС находится не во всех твэлах, только в 9-15 из полного количества твэлов в них 312.

Использовании топлива с выгорающим поглотителем на основе гадолиния дает ряд преимуществ. Как самое весомое достоинство топливной загрузки с

выгорающим поглотителем на основе гадолиния надо выделить рост длительности цикла до 122 суток и увеличение глубины выгорания до 45 ГВт·сут/т (в случае с концентрацией гадолиния 0,5%). Это на 5% больше соответствующих параметров для топлива с выгорающим поглотителем на основе бора.

Еще одним способом использования выгорающего поглотителя на основе бора является напыление диборида циркония на оболочку сердечника твэла.

Бор обычно используется в качестве поглотителя нейтронов из-за высокого нейтронного сечения изотопа ^{10}B . Его (n, α) сечение реакции для тепловых нейтронов составляет около 3840 барн (для нейтрона с энергией 0,025 эВ). Большинство реакций (n, α) тепловых нейтронов представляют собой реакции $^{10}\text{B} (n, \alpha) ^7\text{Li}$, сопровождаемые гамма-излучением 0,48 МэВ [19].

На рисунке 3.4 приведены результаты расчетов изменения запаса реактивности реактора ВВЭР-1000 от энерговыработки при напылении на сердечники твэлов диборида циркония.

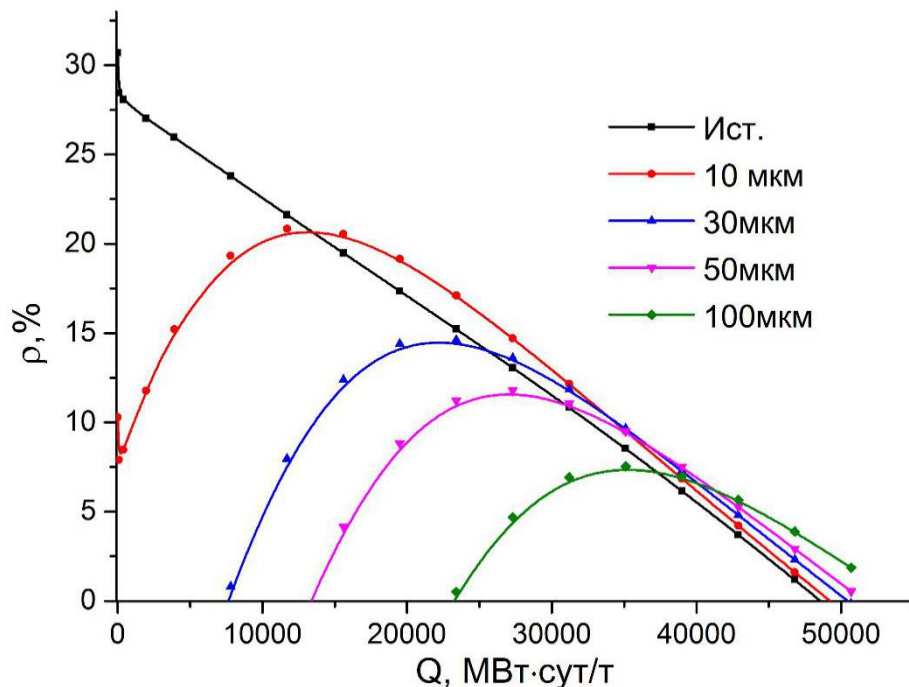


Рисунок 3.4 – Зависимость запаса реактивности от энерговыработки при различной толщине напыления диборида циркония.

Если начальный запас реактивности топлива без ВП составляет 32%, то он снижается до ~10 % при напылении всего лишь 10 мкм диборида циркония.

Причем содержащееся в этом слое количество бора-10 полностью выгорает за одну кампанию реактора (15 МВт*сут/т). При больших толщинах напыления 10В за время одной кампании выгореть не сможет. При таком способе использования бора как выгорающего поглотителя представляет собой хорошую альтернативу использованию гадолиния.

3.3 Расчетная модель реактора ВВЭР-1000 в виде ТВС

Расчетная модель реактора ВВЭР-1000 в виде одиночной ТВС с граничными условиями типа симметрии на внешней границе является более лучшим приближением при нейтронно-физическом расчете. Она может быть использована для оценки распределения энерговыделения по сечению кассеты при отсутствии внешних возмущающих факторов (окружение сборки кассетами с различным выгоранием).

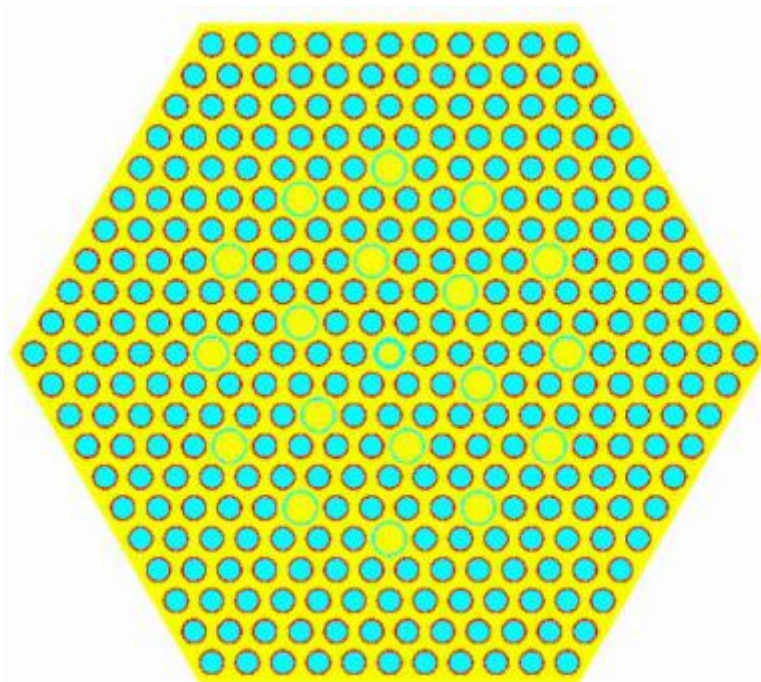


Рисунок 3.5 – Схема поперечного сечения ТВС реактора ВВЭР-1000

На боковой внешней границе, как правило, ставится граничное условие симметрии («белое» отражение, зеркальное отражение, трансляционная симметрия). В этом случае удобно проводить исследования по оптимизации однородной ТВС (без зон профилирования на ее границе, без твэгов и СВП вблизи внешней границы) [20].

Наиболее точную расчетную модель такого типа можно создать в рамках трехмерной программы типа MCU. В рамках данной работы для этого была использована программа WIMSD5B, в которой имеется возможность описания ТВС в кластерной геометрии.

Реальная структура ТВС в программе WIMSD5B была заменена на цилиндризованную, которая показана на рисунке 3.6.

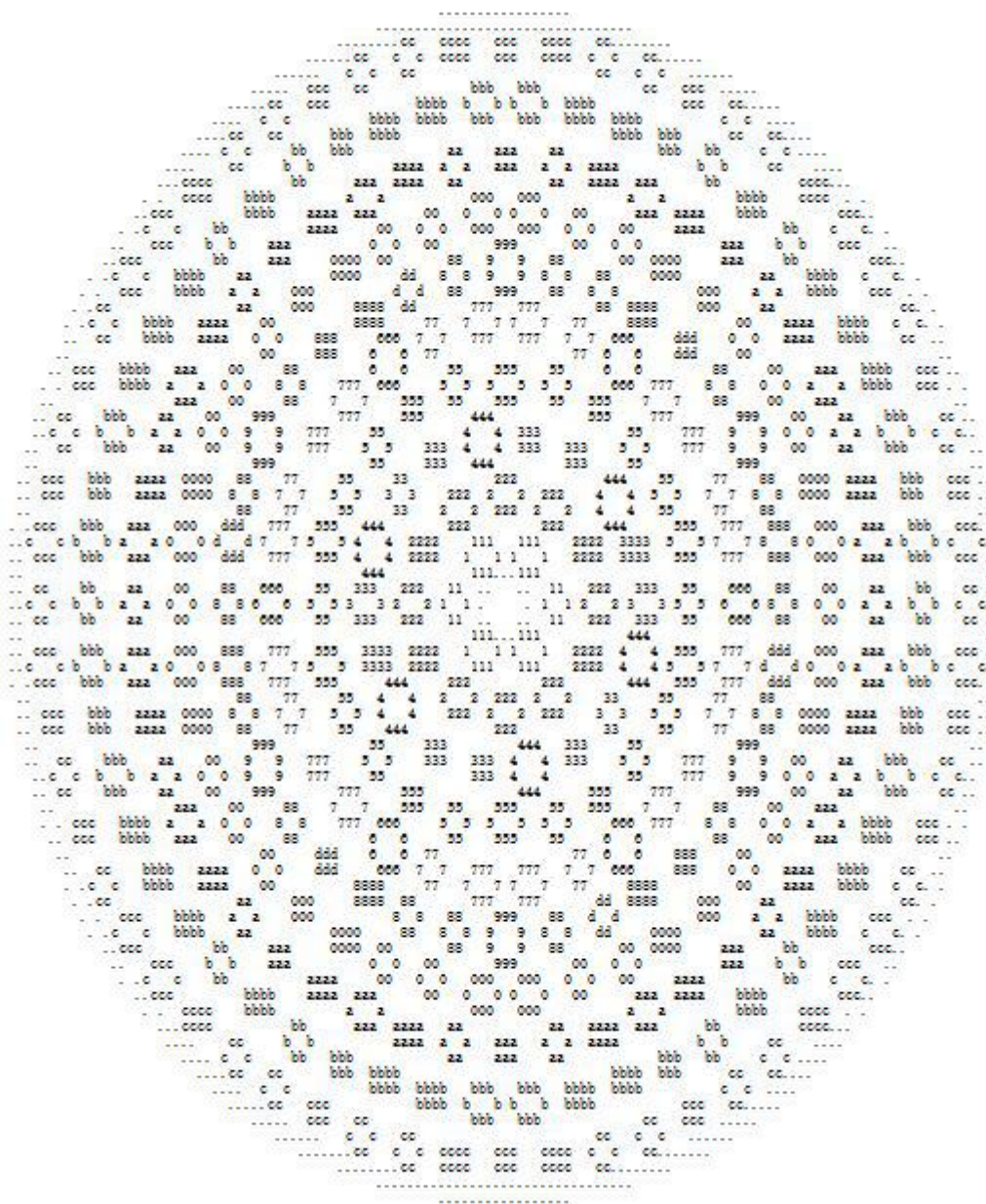


Рисунок 3.6 – Расчетная модель ТВС реактора ВВЭР-1000 в рамках программы WIMSD5B.

В реальном реакторе ВВЭР-1000 выгорающий поглотитель расположен не во всех твэлах реактора, а только в некоторых из них. В ТВС этого реактора из

312 твэлов выгорающий поглотитель находится только от 6 до 18 из них. Для исследования влияния выгорающего поглотителя, расположенного не во всех твэлах реактора в рамках программы WIMSD5B была создана кластерная модель ТВС, в которой к твэлам реактора добавлялось разное количество твэгов с гадолинием.

На рисунке 3.7 показана зависимость изменения запаса реактивности от количества твэгов, которые располагались равномерно в массиве твэлов.

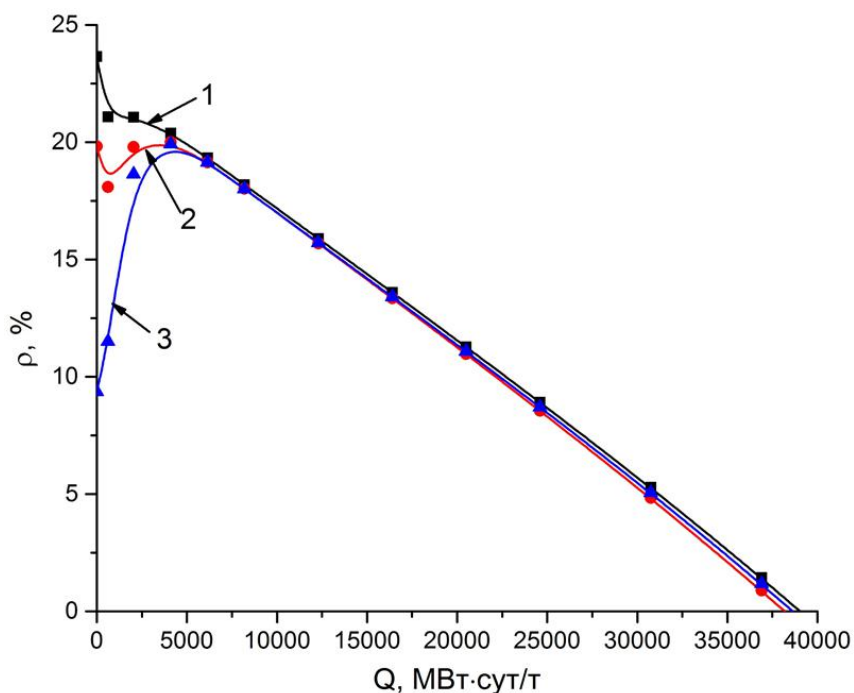


Рисунок 3.7 – Зависимость запаса реактивности от энерговыработки при различных количествах твэгов (с 2% оксида гадоления) в ТВС: 1 – 1 твэг; 2 – 3 твэга; 3 – 6 твэгов.

В исходной состоянии (без твэгов) запас реактивности реактора составил 23.7 %. Установка в такую ТВС одного твэга с содержанием 2% оксида гадоления начальный запас реактивности ТВС уменьшился до 23,7%. При дальнейшем увеличении количества твэгов до 3 стержней начальный запас реактивности снизился до 19,5 %. При дальнейшем увеличении количества твэгов до 6 стержней начальный запас реактивности снизился до 9,4%, но при этом возникает значительный выбег реактивности (резкое увеличение реактивности) при работе реактора. Поэтому в рамках данной модели

оптимальное количество твэгов в ТВС равно трем. Общая средняя энерговыработка составила 37 ГВт·сут/т.

Данные результаты получены при использовании твэгов во всех ТВС реактора. В реальных случаях в реакторе ВВЭР-1000 используется от 6 до 12 твэгов, но они устанавливаются только в свежих ТВС, число которых в активной зоне реактора составляет ~25% от общего количества ТВС.

3.4 Влияние выгорающего поглотителя на распределение энерговыделения по сечению ТВС

Для расчета распределения энерговыделения по сечению ТВС реактора ВВЭР-1000 был использован сектор симметрии (60°). Полученные в результате расчета по программе MCS5TRU значения мощности твэлов нормировались на среднее по распределению значение.

На рисунке 3.8 приведен сектор симметрии ТВС типа 44ZSZ реактора ВВЭР-1000 (60°)

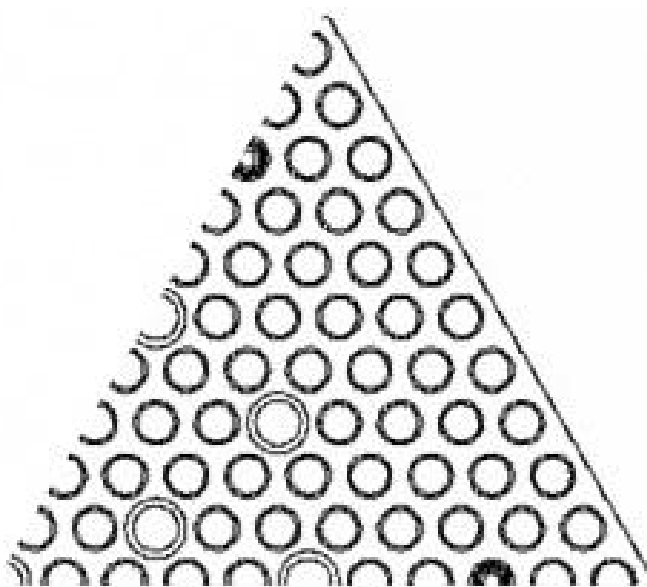
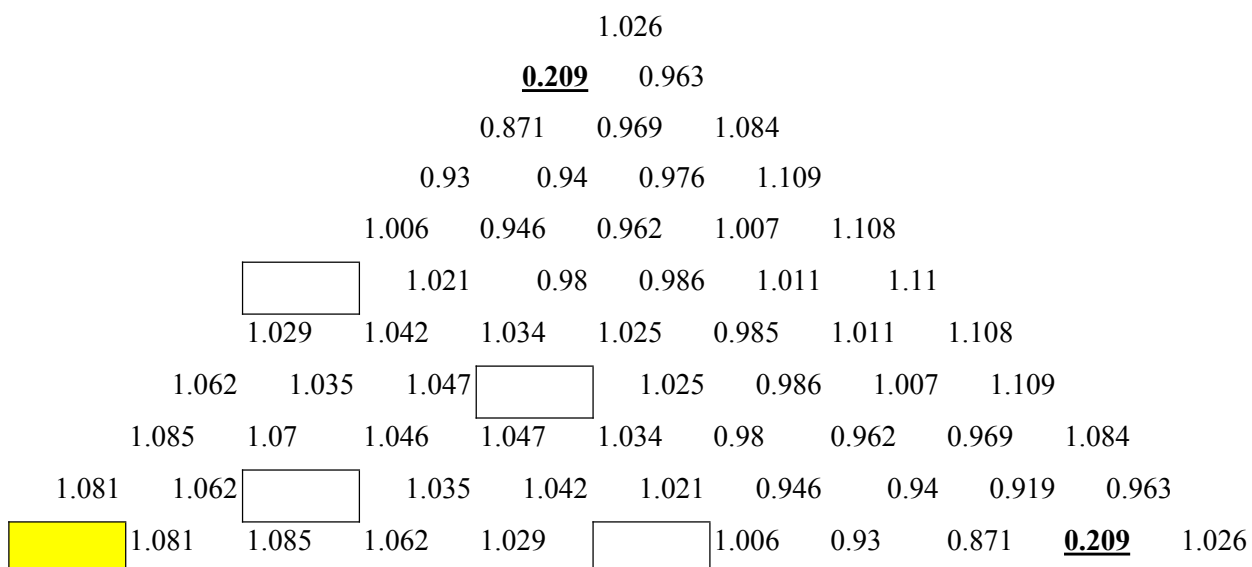


Рисунок 3.8 – Сектор симметрии ТВС типа 44ZSZ. Жирным линией выделены твэги. Двойной линией – направляющие каналы для стержней регулирования.

[illegible]

На рисунке 3.10 приведены распределения энерговыделения по сектору симметрии ТВС типа 44ZSZ, в которой твэги передвинуты ближе к угловым твэлам в начале работы на номинальном уровне мощности.



47

Коэффициент неравномерности распределения энерговыделения по сечению ТВС в начале ее работы снижается с 1.113 до 1.110.

Рисунок 3.11 – Распределения энерговыделения по сектору симметрии ТВС реактора ВВЭР-1000. Твэги сдвинуты в углы ТВС. Подчеркиванием выделены энерговыделения в твэгах. Нормировано на среднее значение.

Изменением положения твэгов в ТВС можно добиться лишь небольшого уменьшения коэффициента неравномерности распределения энерговыделения.

Кроме традиционного размещения выгорающего поглотителя в реакторе ВВЭР-1000 в виде смеси с топливом существует несколько других способов снижения запаса реактивности при использовании выгорающего поглотителя:

Для того, чтобы проверить, как толщина напыления диборида циркония влияет на работу реактора, работающего на урановом топливе, были проанализированы зависимости запаса реактивности от энерговыработки от различной толщины пленок в на поверхности топлива, изменение нуклидного состава в течение кампании при наличии и отсутствии напыляемого диборида циркония.

На рисунке 3.12 приведены результаты расчетов запаса реактивности реактора (модель с одним твэлом).

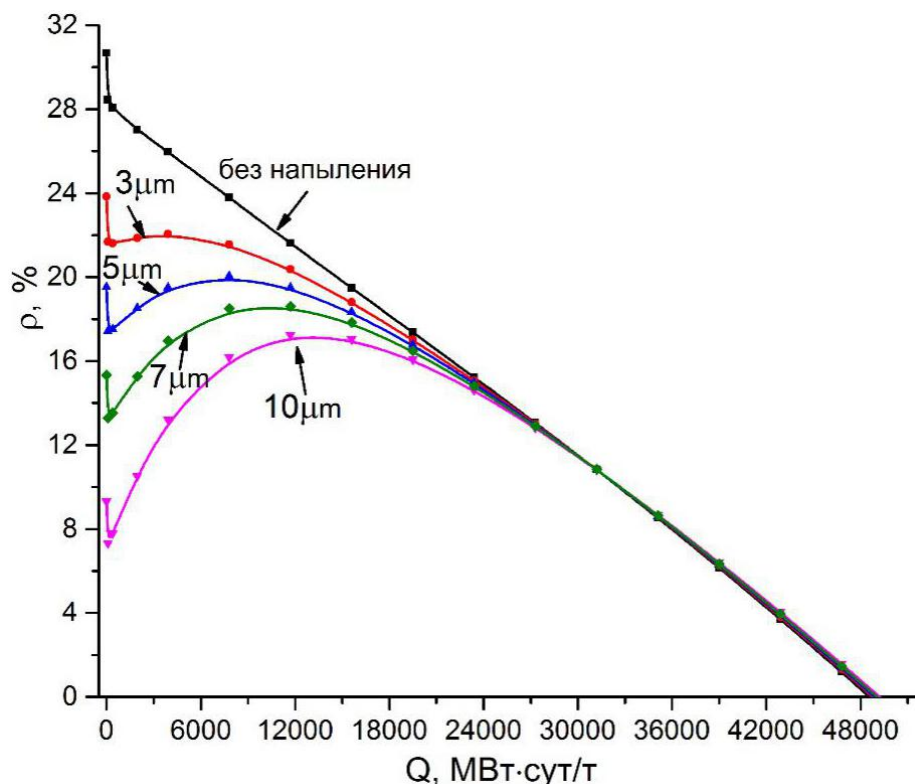


Рисунок 3.12 – Зависимость запаса реактивности от энерговыработки с различной толщиной напыления выгорающих поглотителей ZrB_2 .

Как видно на рисунке 3.12, начальный запас реактивности топлива без ВП составляет 29%. При напылении 5 мкм начальный запас реактивности снизился до 17 %. Его можно снизить до 8% путём напыления 10 мкм диборида циркония, однако при этом возникает значительный выбег реактивности до 17%, что является нежелательным, так как это будет препятствовать устойчивой работе реактора. Общая средняя энерговыработка составила 48 ГВт·сут/т.

Оптимальная толщина напыления ZrB_2 составляет 3-5 мкм. При этом длительная работа реактора может быть достигнута при низком запасе реактивности и самое главное, что в реакторе будет отсутствовать выбег положительной реактивности при работе.

На рисунке 3.13 представлены зависимости запаса реактивности от энерговыработки с выгорающим поглотителем Gd_2O_3 , при помещении выгорающего поглотителя Gd_2O_3 в центральном осевом отверстии в ТВЭлах.

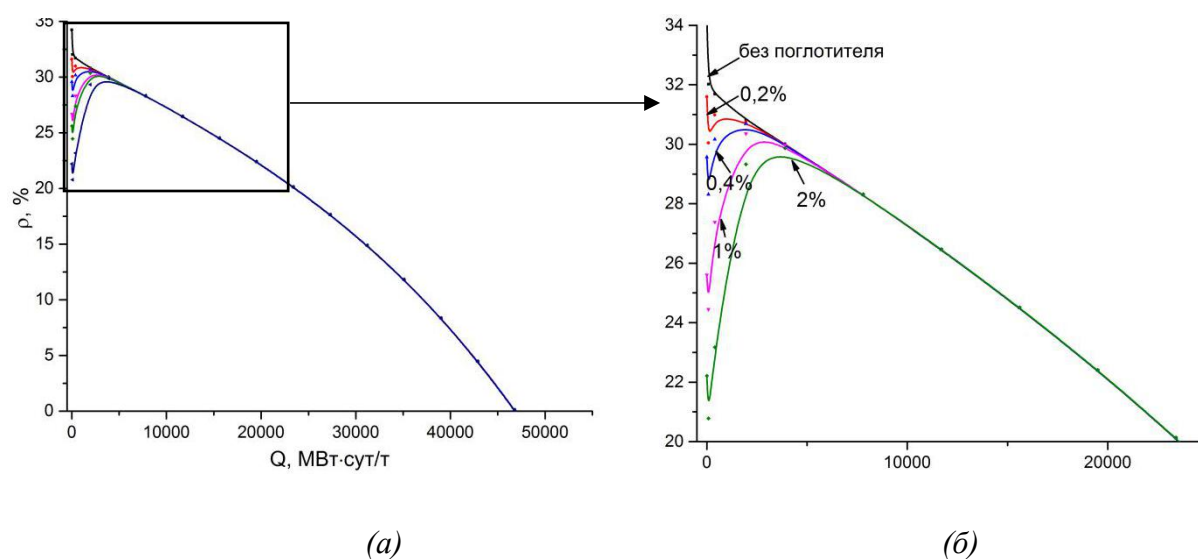


Рисунок 3.13 – Зависимость запаса реактивности от энерговыработки с выгорающим поглотителем Gd_2O_3 .

Если использовать выгорающий поглотитель в виде проволоки из окиса гадолиния, то при его содержании от 0.4% до 1 % в объеме осевого отверстия можно снизить запас реактивности реактора ВВЭР-1000 в начале кампании на 5%-9%. Гадолиний полностью выгорает за ~ 5000 МВт*сут/т в топливе ТВС, а запас реактивности реактора в течение кампании не превысит $\sim 30\%$, вместо 34% в реакторе без гадолиния.

3.6 Определение длительности кампании и нуклидного состава ядерного топлива в модели одиночного ТВЭЛ

Экономические показатели ядерных реакторов, предназначенных для производства электроэнергии, в значительной степени зависят от количества сырья, необходимого для производства данного количества электроэнергии, или, другими словами, от допустимой глубины выгорания ядерного горючего.

В работающем реакторе непрерывно протекают процессы, приводящие к изменению нуклидного состава всех реакторных материалов, в том числе топливных. В результате деления ядер топлива делящийся материал непрерывно убывает. Этот процесс называется выгоранием и сопровождается потерей общего запаса реактивности.

Если считать решенной проблему устойчивой работы тепловыделяющих элементов реактора, то допустимая степень выгорания горючего будет определяться начальным запасом реактивности реактора и законом её снижения в процессе его работы.

Непрерывно убывает и выгорающий поглотитель (Gd), находящийся в составе ТВЭЛов реактора ВВЭР-1000. Причем из-за высокого сечения поглощения гадолиний выгорает гораздо быстрее ядер топлива. Тепловые нейтроны в этом реакторе образуются в замедлителе, поэтому падающий на ТВЭЛ поток тепловых нейтронов приводит к неравномерному выгоранию гадолиния по их радиусу. Для учета этого в расчетной модели топливная зона была разбита на 4 равных по объему зоны равного объема. На рисунке 3.14 приведены результаты расчетов изменения одного из выгорающих изотопов гадолиния (^{155}Gd) в этих топливосодержащих зонах (нумерация зон начинается от центра).

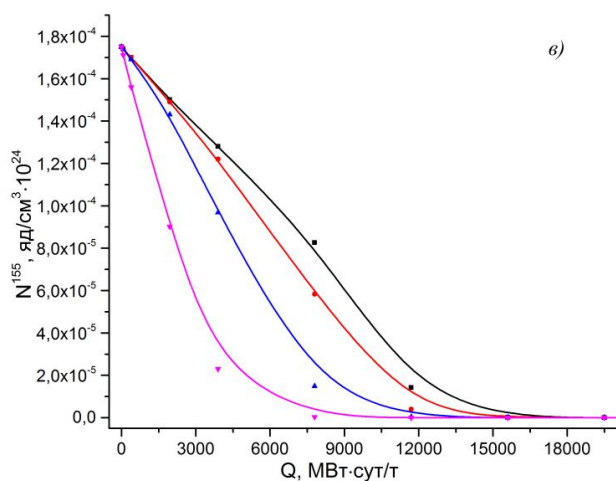
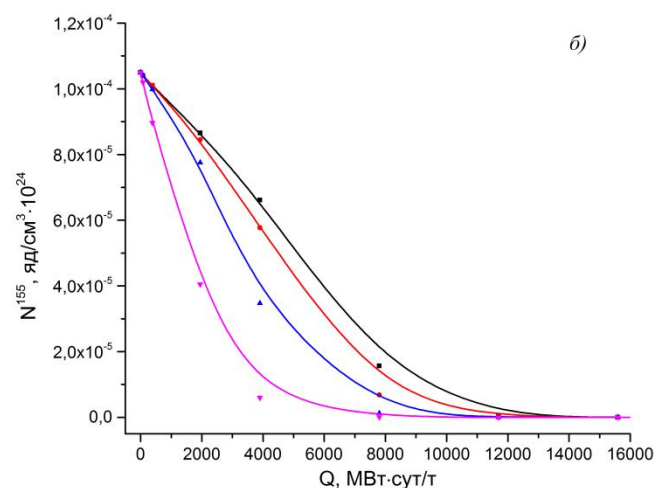
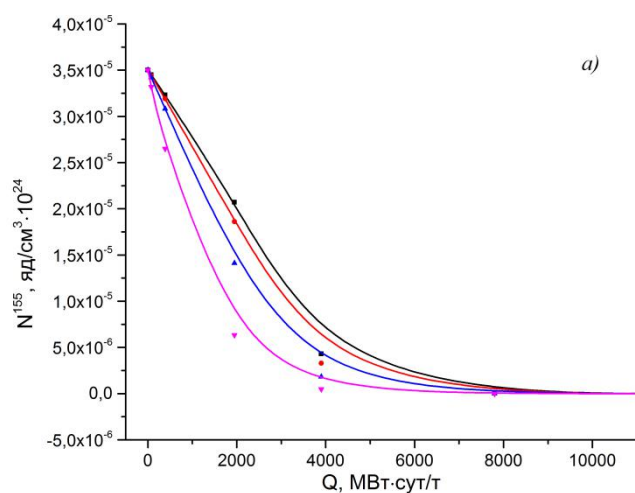


Рисунок 3.14 – Изменение концентрации изотопа ^{155}Gd в процессе реакции:

- а) – 1% оксида гадолиния в смеси с топливом;
- б) – 3% оксида гадолиния в смеси с топливом;
- в) – 5% оксида гадолиния в смеси с топливом.

—■— зона 1; —♦— зона 2 ;
—▲— зона 3; —▼— зона 4.

Сравнивая кривые на рисунке 3.14 а – в, можно отметить, что чем ближе расчетная зона к центру, тем медленнее в ней выгорает выгорающий поглотитель. Увеличению концентрации выгорающего поглотителя приводит к увеличению глубины выгорания топлива (времени работы), при которой выгорающий поглотитель полностью выгорает.

На рисунке 3.15 приведены результаты расчетов изменения еще одного из выгорающих изотопов гадолиния (^{157}Gd) в этих топливосодержащих зонах (нумерация зон начинается от центра).

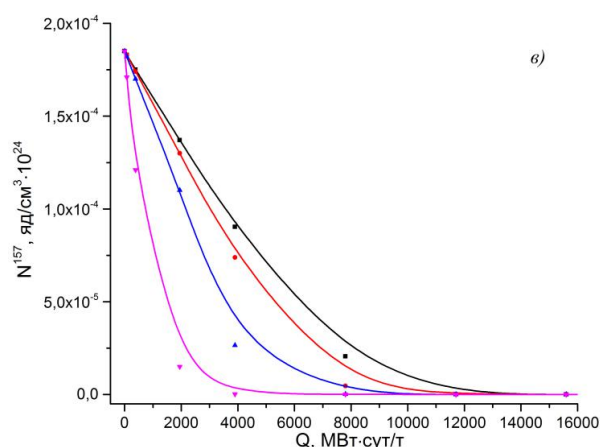
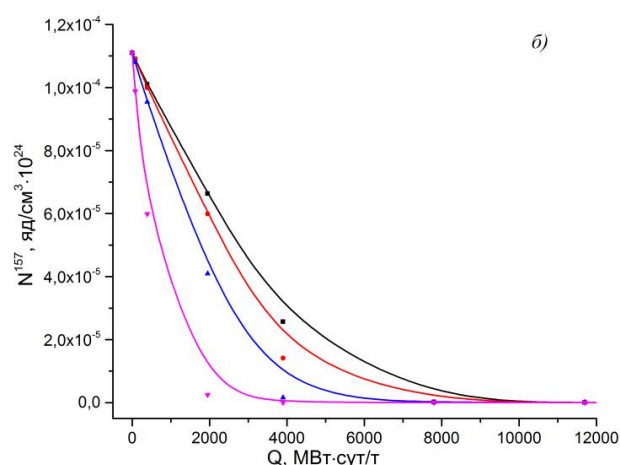
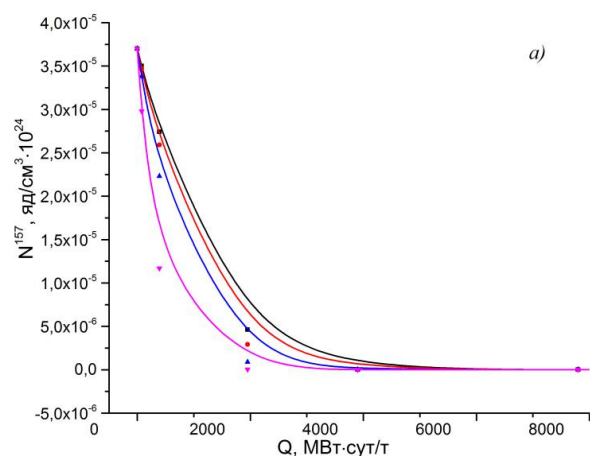


Рисунок 3.15 – Изменение концентрации изотопа ^{157}Gd в процессе реакции:

а) – 1% оксида гадолиния в смеси с топливом;

б) – 3% оксида гадолиния в смеси с топливом;

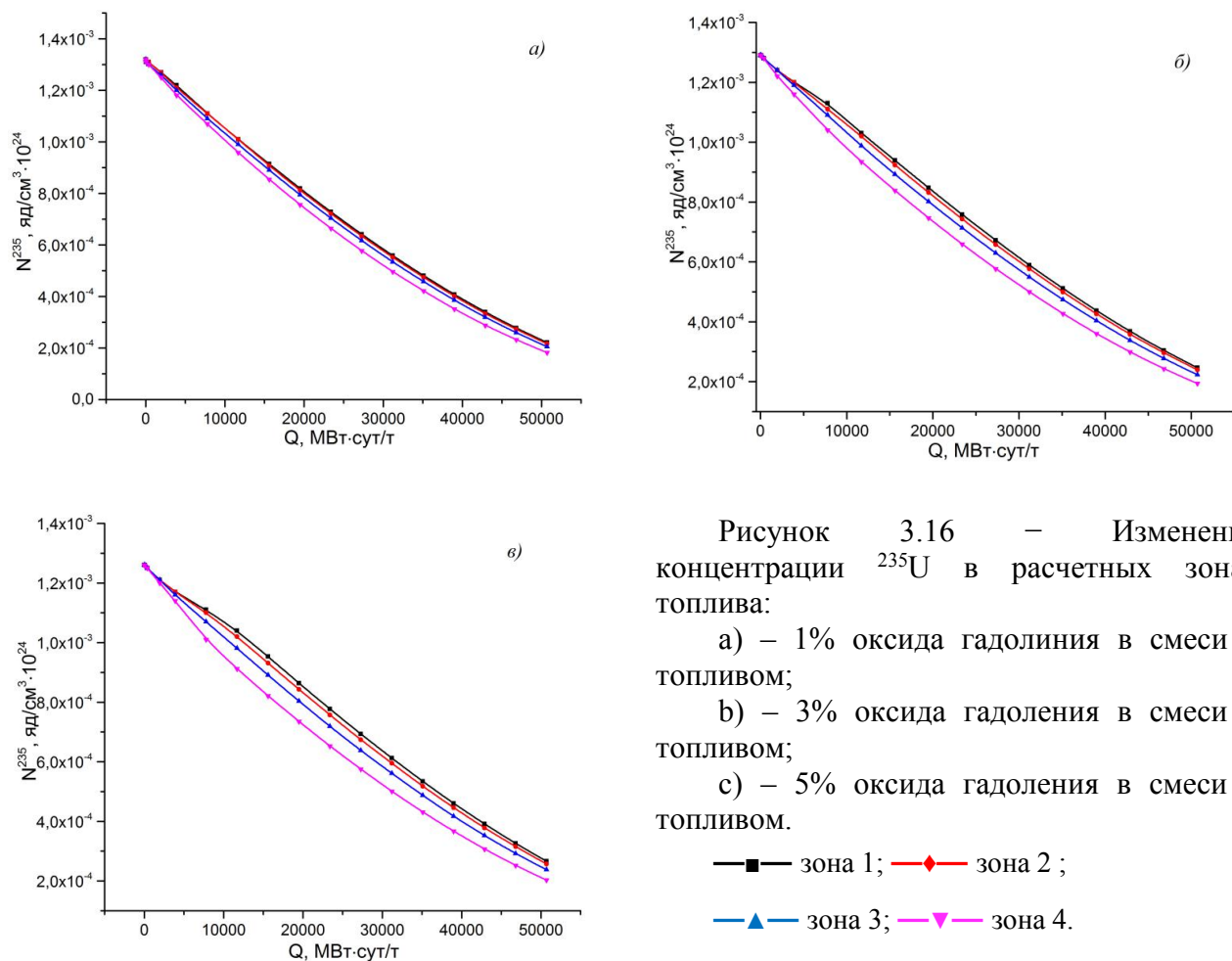
в) – 5% оксида гадолиния в смеси с топливом.

—■— зона 1; —♦— зона 2 ;

—▲— зона 3; —▼— зона 4.

Сравнивая рисунок. 3.14 и рисунок 3.15, можно видеть, что скорость выгорания изотопа Gd-157 значительно выше, чем у Gd-155 . У него действительно микроскопическое сечение поглощения тепловых нейтронов гораздо больше.

На рисунке 3.16 приведены результаты расчетов изменения основного делящегося изотопа ^{235}U в 4-х топливосодержащих зонах (нумерация зон начинается от центра).



Увеличение концентрации оксида гадолия в топливе приводит к тому, что скорость изменения концентрации ^{235}U в разных расчетных зонах начинает сильнее отличаться.

Изменение реактивности происходит, практически, линейно, за исключением начального момента времени. Это вызвано тем, что изотопы Pu в начальный момент времени накапливаются нелинейно, тем самым вносят переменный вклад в поглощение нейтронов. Из представленной зависимости видно, что на уменьшение концентрации U-235 выгорающий поглотитель влияет слабо. Но при увеличении концентрации выгорающего поглотителя (Gd_2O_3) от 1% до 5% темп выгорания ^{235}U увеличился. Чем больше концентрации выгорающего поглотителя, тем быстрее расходуется ^{235}U согласно рисункам 3.15 (а), (б) и (в).

Вывод

Проведенный комплекс исследований позволяет выделить следующие основные результаты работы:

1. Для существующих кампаний реактора возможно применение выгорающего поглотителя в виде твэгов (гомогенное размещения оксида гадолиния в топливе) или в виде напыления диборида циркония на топливные таблетки. Толщина напыления сильно влияет на скорость выгорания поглотителя. С увеличением толщины напыления начальный запас реактивности снижается.

2. При использовании твэгов запас реактивности реактора ВВЭР-1000 может быть снижен не менее чем на 5 %.

3. При использовании покрытия из диборида циркония с толщиной напыления 3 мкм, длительная работа реактора может быть достигнута при запасе реактивности на 5-6 % более низком, чем в реакторе без выгорающего поглотителя. При этом не наблюдается выбега положительной реактивности.

4. Введение 6 или 12 твэгов в ТВС реактора ВВЭР-1000 приводит к снижению начального запаса реактивности до 9-12 %. Основные поглощающие нейтроны изотопы гадолиния практически полностью выгорают при достижении глубины выгорания топлива 12000 МВт*сут/т урана.

5. Изменением положения твэгов в составе ТВС можно уменьшить коэффициент неравномерности распределения энерговыделения по ТВС не более чем на 0.5 %.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективы научных исследований определяются не только масштабами открытия, которые трудно оценить на первых этапах жизненного цикла высокотехнологичного и ресурсоэффективного продукта, а скорее как коммерческая ценность развитие. Оценка коммерческой ценности (потенциала) развития является предпосылкой для поиска источников финансирования для научных исследований и коммерциализации его результатов.

Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы текущих исследований. Благодаря такой оценке ученый может найти партнера для дальнейших исследований, коммерциализации результатов таких исследований и открытия бизнеса.

Целью данной главы является расчет затрат, необходимых для проведения эксперименты:

В данной работе эксперимент предназначен главным образом для определения нейтронно-физических характеристик ТВС с различными видами топливных композиций посредством математического моделирования, поэтому основным инструментом является компьютер.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для введения результатов выпускной квалификационной работы на тему «Влияние выгорающего поглотителя на распределение энерговыделения в ТВС реактора ВВЭР-1000» на целевой рынок, необходимо прежде всего произвести анализ потребителей результатов исследования и в свою очередь выявить сегмент рынка.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Для выявления определенной части рынка или группы потребителей, обладающих определенными общими признаками, необходима реализация

сегментирование, т.е. формирование определенных групп, испытывающих необходимость в данном товаре.

Результаты сегментирования представлены на рисунке 4.1.

		Программные средства	
		WIMS-D5B	MCU
Классификация программ по точным характеристикам	Инженерные ПС		
	Прецизионные ПС		

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Существование некоторых общих чертов, реализация суб необходимости, что существует необходимость формирования определенных групп этого продукта для того, чтобы определить конкретную часть рынка или клиентов групп, важно на самом деле оценить сильные и слабые стороны развития ваших конкурентов.

Для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть методы расчета нуклидного состава с помощью специальных расчетных программ, а именно построение математической модели на базе кодов WIMS-D5 на тему «Влияние водородной атмосфере на свойства плёнки оксида алюминия на титане BT1-0» на целевой рынок, в первую очередь необходимо проанализировать потребительские группы, результаты исследований, а затем определить сегменты рынка.

Программа WIMS-D5B (Winfrith Improved Multigroup Scheme, версии D5B) предназначена для нейтронно физического расчета ячеек ядерных реакторов различного типа (включая расчет выгорания). WIMS - это общий код для расчета реакторной ячейки в широком диапазоне реакторных систем. В частности, код может работать в цилиндрической геометрии стержневого или в плоской геометрии пластинчатого топлива либо в регулярных

массивах стержневых кластеров, а структура энергетических групп может быть выбрана главным образом для тепловых расчетов. Эта программа используется для расчета нейтронно-физического расчета ячеек тепловых и быстрых реакторов (включая расчет выгорания) различных типов. Программа WIMS используется при проектировании реакторов, расчета и анализа различных эффектов в существующих реакторах.

Программа MCU (Monte Carlo Universal) - проект по разработке и практическому использованию универсального компьютерного кода для моделирования переноса частиц (нейтронов, фотонов, электронов, позитронов) в трехмерных системах с помощью метода Монте-Карло. Моделирование по методу Монте-Карло используется для моделирования вероятности различных результатов в процессе, который невозможно предсказать из-за вмешательства случайных величин. Это метод, используемый для понимания влияния риска и неопределенности в моделях прогнозирования и прогнозирования. Кроме того, этот метод практически не накладывает ограничений на геометрию рассматриваемых систем.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 4.1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_1	B_2	K_1	K_2
1	2	3	4	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					

1. Удобство в эксплуатации	0,2	5	3	1,0	0,6
2. Легкость освоения	0,23	4	3	0,92	0,69
3. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	3	0,20	0,15
4. Информативность	0,1	4	4	0,4	0,4
5. Точность расчетов	0,2	4	5	0,8	1,0
6. Характерное время расчета	0,1	5	3	0,5	0,3
7. Функциональные возможности ПС	0,05	4	5	0,20	0,25
8. Способность к модификации	0,01	5	5	0,05	0,05
9. Потребность в оперативной памяти	0,05	5	5	0,25	0,25
10. Ресурсосберегаемость	0,01	4	3	0,04	0,03
Итого	1	44	39	4,36	3,72

Выше представлен анализ конкурентоспособности математическая модель метод, представленной в данной работе, среди программы WIMS (Б₁) и MCU (Б₂). Из анализа видно, что конкурентное программное средство недостаточно удовлетворяет необходимым требованиям, так как обладает недостаточной ресурсосберегаемостью, неудобно в эксплуатации.

4.1.2. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В таблице 4.2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки [21].

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+
B3	+	–	+	–	+

B4	+	+	+	+	+
B5	+	+	+	+	+

В матрице пересечения имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В рамках должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской работе (в таблице 4.3)

Таблица 4.4 – Итоговая матрица SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: C1. Удобство эксплуатации программного средства C2. Использование современных программ C3. Возможность контроля процесса расчета C4. Наличие актуальных данных по реакторной установке ВВЭР-1000. C5. Экологичность технологии	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Программное обеспечение с закрытым исходным кодом Сл3. Возможность появления погрешности расчета. Сл4. Большая трудоёмкость работы Сл5. Продолжительное время расчетов
Возможности: В1.Снижение стоимости электроэнергии. В2. Появление дополнительного спроса на результаты исследования. В3. Использование расчетов для атомной промышленности и научной отрасли. В4. Возможность расчета различного топлива. В5. Возможность улучшения программного обеспечения.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1.Благодаря возможностям расчётной модели и своевременному финансированию продвижение на рынок может стать успешным. 2. Так как существует возможность оптимизации расчётной модели, то это позволит конкурировать с новейшими разработками.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Возникновение ошибок из-за длительных расчетов; Данный фактор при внимательной работе можно устранить. 2.Требование наличия обширных знаний в физической теории ядерных реакторов; Данный не является большим недостатком, так как получение дополнительных знаний не принесет вреда и расширит кругозор.
Угрозы: У1. Недостаточная	Результаты анализа интерактивной матрицы	Результаты анализа интерактивной матрицы

точность аналитических методов. У2. Отсутствие спроса на результаты исследования У3. Развитая конкуренция других научных центров У4. Отсутствие источников для проверки полученных результатов. У5. Появление совершенных технологий в атомной отрасли.	проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Постоянная работа реактора и возможность увеличения мощности вызывает дополнительный интерес у государства. 2. Использование воды обеспечивает безопасность эксплуатации реактора.	проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Влияние человеческого фактора может отрицательно сказаться на достоверности результатов, что снизит вероятность публикации. Однако при сложной работе вы можете минимизировать возникновение ошибки. 2. Несмотря на возможные неточности расчетов, они необходимы для принятия решений по проблемам энерговыделения в кипящих реакторах.
--	---	--

4.2 Планирование управления научно-техническим проектом

4.2.1 Инициация проекта

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представить в табл. 4.5.

Таблица 4.5 *Заинтересованные стороны проекта*

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Сибирская АЭС	Оптимизация/усовершенствование существующей технологии

В таблице 4.6 необходимо представить информацию о иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 4.6 *Цели и результат проекта*

Цели проекта:	Исследование выгорающего поглотителя. Методы и объекты исследования.
---------------	--

Ожидаемые результаты проекта:	Сравнительная характеристика различных выгорающих поглотителей. Повышение эффективности выгорающего поглотителя методом математического моделирования.
Критерии приемки результата проекта:	Действительное удлинение времени реакции топлива после фактической работы
Требования к результату проекта:	Требование:
	Наиболее эффективный тип и пропорции выгорающих поглотителей.
	Методика улучшения выбега реактивности.

2. Организационная структура проекта. На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 4.7).

Таблица 4.7 Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Чертков Ю. Б.	Руководитель проекта	отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта.	48
2	Ван Цайлунь	Заказчик проекта	участник проекта, формирующий цели проекта, ограничения проекта по срокам и затратам	522
ИТОГО:				570

4.2.2 План проекта

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 4.8.

Таблица 4.8 – Календарный план проекта.

Код работы	Название	T _{кал} , дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	3	01.02.2019	05.02.2019	Научный руководитель
2	Выбор направления исследований	3	06.02.2019	09.02.2019	Научный руководитель, Студент
3	Подбор и изучение материалов по теме	5	10.02.2019	15.02.2019	Научный руководитель, Студент
4	Разработка общей методики проведения исследований	3	16.02.2019	20.02.2019	Студент
5	Создание расчетной модели	5	21.02.2019	28.02.2019	Научный руководитель, Студент
6	Освоение программного обеспечения	6	29.02.2019	07.03.2019	Студент
7	Практический расчет по программе WIMSD5B	29	08.03.2019	18.04.2019	Студент
8	Оценка эффективности полученных результатов	8	19.04.2019	30.04.2019	Научный руководитель, Студент
9	Составление пояснительной записки	19	01.05.2019	01.06.2019	Студент
10	Подготовка к защите	9	01.06.2019	14.06.2019	Студент

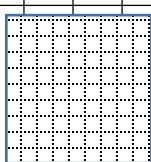
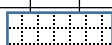
В рамках планирования научного проекта необходимо составить расписание календаря для проекта. Для планирования диаграммы Ганта было выбрано, который является гистограммой (гистограмма), который используется для иллюстрации хода выполнения работающего проекта, чтобы увеличить продолжительность времени предмета представлен, в котором начало и эти работы конец даты реализации.

В большинстве случаев затраты на рабочую силу составляли основную часть затрат на разработку, поэтому важно определить загруженность каждого

участника исследования. Сложность исследования заключалась в оценке реализации на экспертных человеко-дней, а вероятностный характер, так как это зависит от многих факторов, рассматриваемых трудно.

График строится в виде таблицы 4.9 с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 4.9 – Календарный план-график проведения эксперименты по теме

№ ра б	Вид работ	Исп .	Т _к , кал. дн.	Время выполнения работ, месяц.													
				Фев.			Мар.			Апр.			Май.			Июн.	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Р	3														
2	Выбор направления исследований и способов решения задач	Р,С	3														
3	Подбор и изучение материалов по теме	Р,С	5														
4	Разработка общей методики проведения исследований	С	3														
5	Создание расчетной модели	Р,С	5														
6	Освоение программного обеспечения	С	6														
7	Практический расчет по программе WIMSD5B	С	29														
8	Оценка эффективности полученных результатов	Р,С	8														
9	Составление	С	19														

	пояснительной записки																
10	Подготовка к защите	С	9														
Итого дней			90														

При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

4.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования (НТИ) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- Материальные затраты НТИ;
- Основная заработная плата исполнителей темы;
- Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- Накладные расходы.

4.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + K_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи} \quad (4.2)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.); k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров.

Сетевая потеря мощности (называемая потери линии), является потерей потребления электроэнергии и электросетевых предприятий от электростанций до выпускной метр клиента в процессе передачи электроэнергии и маркетинга только не генерируется. Коэффициент потерь линии является показателем уровня показателей потерь линии, которые отражают и планирование интегрированной системы питания и проектирование, производство и эксплуатацию и уровень управления электросетевых предприятия экономических и технические индикаторы.

В этих расходах нужно посчитать затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Для этого нужно узнать мощность, время использования оборудования и рассчитать затраты. Стоимость 1 кВт/час – составляет 5,8 руб. Время, проведенное за ЭВМ: 570 часов. Мощность рабочей станции: 0,5 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 570 = 1653 \text{ руб.}$$

где $C_{эл}$ — тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);
 P – мощность оборудования, кВт; $F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	Ballet	500	0,50	250
Печать на листе А4	—	300	1,5	450
Ручка	Pilot BPS-GP	1	50	50
Доступ в интернет	—	4 месяца	500	2000
Электричество	—	300 кВт·ч	5,8	1653
Всего за материалы				5534
Персональный компьютер				40000
Итого по статье C_m				44403

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

4.3.2 Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату установки, работники непосредственно занято выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату. Основная заработная плата рассчитывается по формуле 4.3:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.3)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата;

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, студента) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле 4.4:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{р} \quad (4.4)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} \quad (4.5)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

При отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

При отпуске в 48 раб.дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + K_{пр} + K_d) \cdot K_p, \quad (4.6)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$); $k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; $k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 4.11 Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Таблица 4.12 Расчёт основной заработной платы

Исполнители	k_t	$Z_{тс},$ руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м},$ руб.	$Z_{дн},$ руб.	$T_{р},$ раб. дн.	$Z_{осн},$ руб.
Руководитель	1	33664	0,3	0,2	1,3	65644,8	2719,9	24	65277,6
Студент	1	12664	0,3	0,2	1,3	24694,8	1023,2	87	89018,4

4.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (4.7)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15);

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Таблица 4.13 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата	65277,6	89018,4
Дополнительная зарплата	8812	0
Зарплата исполнителя	74089,6	89018,4
Итого по статье С _{зп}	163108	

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{дон}), \quad (4.8)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2017 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
руководитель проекта	65277,6
Студент	89018,4
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3
Итого	46288,8 руб.

4.3.5 Накладные расходы

Проект включает в себя расходы на управление и обслуживание, которые можно напрямую отнести к определенной теме. Кроме того, сюда входят расходы на техническое обслуживание, эксплуатацию и техническое

обслуживание оборудования, производственных инструментов и оборудования, зданий, сооружений и другого оборудования.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}) \quad (4.8)$$

где $k_{\text{накл}}$ — коэффициент накладных расходов

Накладные расходы в ТПУ составляют 12-16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, участвующих в выполнении темы. Примем коэффициент накладных расходов равный 15 %.

Накладные расходы для научного руководителя и студента соответственно составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,15 \cdot 163108 = 24466,2 \text{ руб}$$

4.3.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.15.

Таблица 4.15 Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные затраты НТИ	44403	Таблица 4.10
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	163108	Таблица 4.13
Отчисления во внебюджетные фонды	46288,8	Таблица 4.14
Накладные расходы	24466,2	
Бюджет затрат НТИ	256266	

4.3.7 Реестр рисков проекта

Иерархическая структура работ (ИСР), представленная на рисунке 4.1, представляет детализацию укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

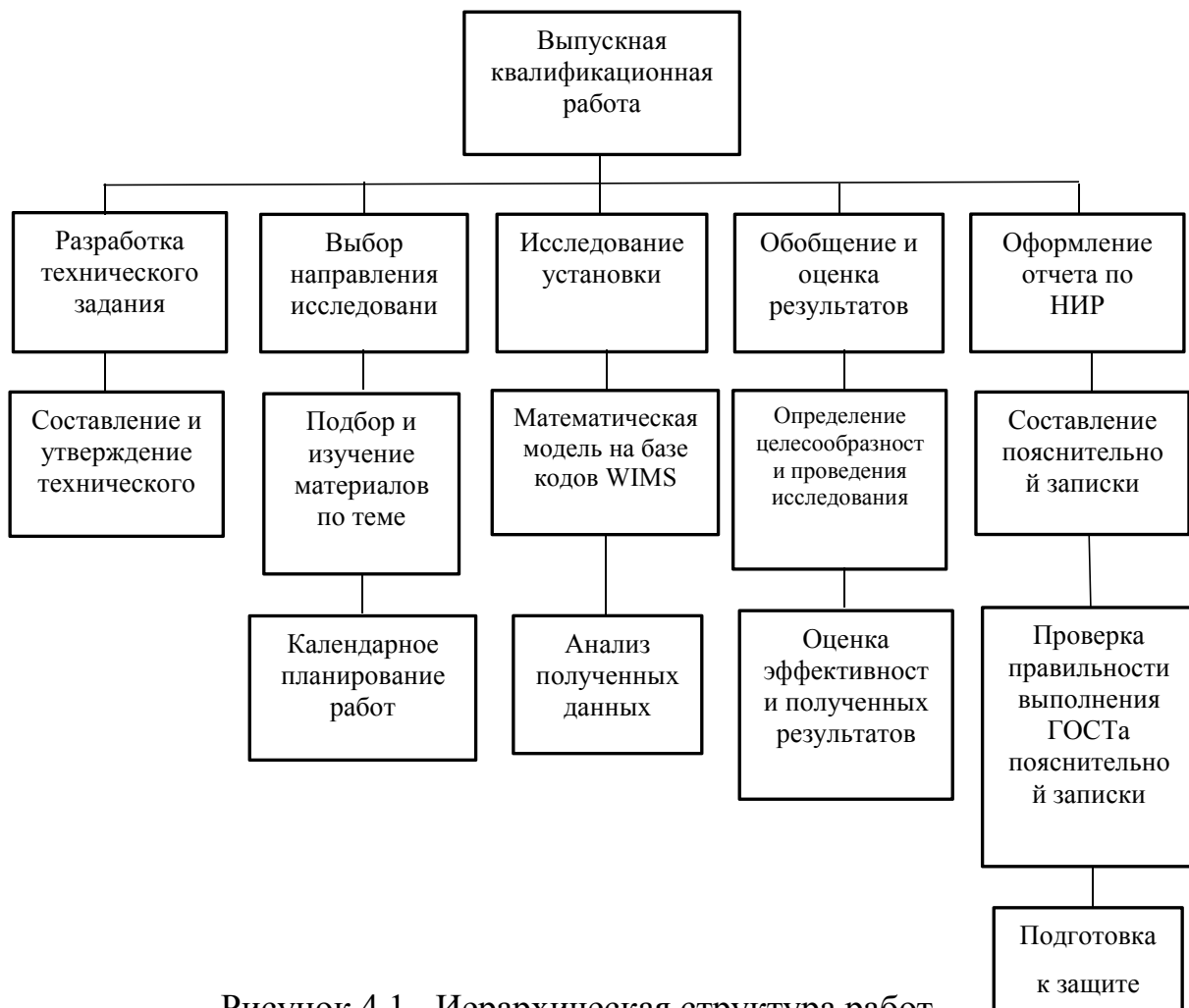


Рисунок 4.1– Иерархическая структура работ

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение основано на расчете общего показателя эффективности научных исследований. Его выводы связаны с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и результативности.

При оценке бюджета затрат на реализацию трех (или более) вариантов научных исследований был получен общий показатель финансовой

эффективности научных исследований (таблица 4.16). С этой целью максимальный интегральный показатель для выполнения технических заданий считается основой расчета, и с ним связана финансовая стоимость всех показателей эффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} \quad (4.9)$$

где I_{ϕ}^p – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{ai} – стоимость i -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$ – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Стоимость разработки составляет 173479,66 р., стоимость аналога 1 составляет 200000 р., стоимость аналога 2 составляет 150000 р. Тогда, интегральные финансовые показатели для разработки и аналога 2 равны:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\max}} = \frac{173479,66}{200000} = 0,86; I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{\max}} = \frac{150000}{200000} = 0,75.$$

Интегральный финансовый показатель для разработки меньше единицы, что говорит об удешевлении разработки. Удешевление разработки происходит как за счет относительно дешевых аппаратных средств (включая обслуживание), функциональных показателей программного средства.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим

образом: $I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a$, $I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a , b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Целесообразно рассмотреть следующие критерии оценки характеристик вариантов исполнения проекта:

- удобство в эксплуатации – свойство, характеризующее степень восприятия ПС пользователем;
- информативность – свойство, характеризующее наличие в составе ПС информации, необходимой и достаточной для понимания назначения ПС, принятых предположений, существующих ограничений, входных данных и результатов работы отдельных компонент, а также текущего состояния программ в процессе их функционирования;
- точность расчетов – мера, характеризующая приемлемость величины погрешности в выдаваемых ПС результатах с точки зрения предполагаемого их использования;
- характерное время расчета – время, за которое ПС производит функциональные расчеты;
- функциональные возможности ПС – функции, которые должно выполнять ПС;
- ресурсосберегаемость – мера, характеризующая способность ПС выполнять возложенные на него функции при определенных ограничениях на используемые ресурсы (используемую память).

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Удобство в эксплуатации	0,2	4	4	3
2. Информативность	0,1	5	4	3

3. Точность расчетов	0,3	5	5	4
4. Характерное время расчета	0,25	5	3	5
5. Функциональные возможности ПС	0,05	4	3	3
6. Ресурсосберегаемость	0,1	4	3	3
ИТОГО	1	4,65	3,90	3,80

$$I^p_m = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,1 = 4,65;$$

$$\text{Аналог1} = I^{a1}_m = 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 = 3,90;$$

$$\text{Аналог2} = I^{a2}_m = 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,1 = 3,80;.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I^p_{\text{финр}}$) и аналога ($I^a_{\text{финр}}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I^p_{\text{финр}} = \frac{I^p_m}{I^p_\phi}, \quad I^{ai}_{\text{финр}} = \frac{I^{ai}_m}{I^a_\phi}, \quad (4.10)$$

В результате получим:

$$I^p_{\text{финр}} = \frac{I^p_m}{I^p_\phi} = \frac{4,65}{0,86} = 5,41; \quad I^{a2}_{\text{финр}} = \frac{I^{a2}_m}{I^{a2}_\phi} = \frac{3,8}{0,75} = 5,06.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I^p_{\text{финр}}}{I^a_{\text{финр}}} \quad (4.11)$$

где $\mathcal{E}_{cp}$ – сравнительная эффективность проекта;

$I^p_{\text{финр}}$ – интегральный показатель разработки;

$I^a_{\text{финр}}$ – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 - Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый	1,00	0,75	0,86

	показатель разработки			
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,9	3,8	4,65
3	Интегральный показатель эффективности	3,9	5,06	5,41
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,39	1,07	1,00

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Вывод

Проведенный комплекс исследований позволяет выделить следующие основные результаты работы:

Результаты показывают, что для того, чтобы проводить расчет (т.е. моделирование нейтронно-физических характеристик ТВС с различными видами топливных композиций), нам нужно 256266 рублей инвестиций.

Эта работа имеет большое практическое значение, с помощью этого исследования, мы можем понять использование стоимости и спрос на рынке, с практической помощью для будущего развития.

5 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [23].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [23], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, ОЯТЦ НИ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВ Ч и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

На магистра, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

– физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой частоты; освещённость; наличие излучения;

– психофизиологические.

– Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.1.

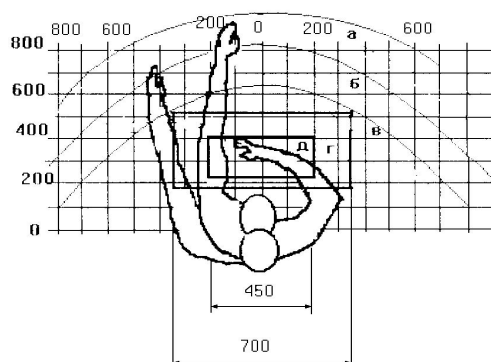


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

- а – зона максимальной досягаемости рук;
- б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в – зона легкой досягаемости ладони;
- г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура — в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);

документация размещается в зоне легкой досягаемости ладони — в (слева) — литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола — литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420 – 550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [24] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, оС	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция.

Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [3] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [25]

конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.3 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Проходя через организм, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие на организм человека.

Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела,

нагреве кровеносных сосудов и нервных волокон.

Электролитическое действие выражается в разложении крови и других органических жидкостей, вызывая значительные нарушения их физико-химических составов.

Биологическое действие проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма, что может сопровождаться непроизвольным судорожным сокращением мышц, в том числе мышц сердца и легких. В результате могут возникнуть различные нарушения в организме, в том числе нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения.

Раздражающее действие тока на ткани может быть прямым, когда ток проходит непосредственно по этим тканям, и рефлекторным, то есть через центральную нервную систему, когда путь тока лежит вне этих органов.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей) [24].

5.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [25], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по

степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение

оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

Проведенный комплекс исследований позволяет выделить следующие основные результаты работы:

1. Для существующих кампаний реактора возможно применение выгорающего поглотителя в виде ТВЭгов (гомогенное размещения оксида гадолиния в топливе) или в виде напыления диборида циркония на топливные таблетки. Толщина напыления сильно влияет на скорость выгорания поглотителя. С увеличением толщины напыления начальный запас реактивности снижается.

2. При использовании ТВЭгов запас реактивности реактора ВВЭР-1000 может быть снижен не менее чем на 5 %.

3. При использовании покрытия из диборида циркония с толщиной напыления 3 мкм, длительная работа реактора может быть достигнута при запасе реактивности на 5-6 % более низком, чем в реакторе без выгорающего поглотителя. При этом не наблюдается выбега положительной реактивности.

4. Введение 6 или 12 ТВЭгов в ТВС реактора ВВЭР-1000 приводит к снижению начального запаса реактивности до 9-12 %. Основные поглощающие нейтроны изотопы гадолиния практически полностью выгорают при достижении глубины выгорания топлива 12000 МВт*сут/т урана.

5. Изменением положения ТВЭгов в составе ТВС можно уменьшить коэффициент неравномерности распределения энерговыделения по ТВС не более чем на 0.5 %.

Список литературы

1. Давахра Сааду. Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР: Дис. канд. тех. наук: Москва, 2006, 13 с.
2. Основное оборудование АЭС с корпусными реакторами на тепловых нейтронах: учебник / С.М. Дмитриев [и др.] – М.: Машиностроение, 2013. – 415с.
3. Деев В.И., Щукин Н.В., Черезов А.Л. Основы расчета судовых ЯЭУ: Учебное пособие / Под общей редакцией проф.В.И.Деева. –М.: НИЯУ МИФИ, 2012. –256с.
4. ВВЭР – 1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / Аль Афров А. М., Андрушенко С. А., Украинцев В. Ф., Васильев Б. Ю., Косоуков К. Б., Семченков Ю. М., Кокосадзе Э. Л., Иванов Е. А.. – М., Университетская книга, Логос, 2006. – 488 с.
5. Физико-технические проблемы атомной энергетики и промышленности: сборник тезисов докладов V Международной научно-практической конференции. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2010. – 198 с.
6. Галанин Д.Ф. Теория ядерных реакторов на тепловых нейтронах. Атомиздат., М., 1981.
7. Burnable absorber assembly. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/patents/US4576787?hl=zh-CN>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Острейкин В. А. Эксплуатация атомных станций: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 928 с.
9. Волков В.С., Лукьянов А.С., Чепкунов В.В., Шевяков В.П., Ямников В.С.. Применение выгорающих поглотителей в ядерных реакторах. - Атомная энергия, Москва, 1961. – 109 С.
10. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1986.—272 с: ил.

11. Дементьев В.Г., Олейник Д.С.. Расчет нейтронно-физических характеристик активной зоны ВВЭР-1000 методом Монте-Карло по программе MCU-PD, и сравнение результатов с программой БИПР-7А и с экспериментальными данными. ВАНТ, сер.: Физика ядерных реакторов, вып. 1, М., 2010, стр. 47-58.
12. Машиностроение ядерной техники / Е. О. Адамов, Ю. Г. Драгунов, В. В. Орлов и др. Под общ. ред. Е.О. Адамова. - М. : Машиностроение, 2005. - 960 с.
13. Крючков В.П., Андреев Е.А., Хренников Н.Н. Физика реакторов для персонала АЭС с ВВЭР и РБМК: Учебное пособие для персонала АЭС/ Под редакцией доктора физ.- мат. наук В.П. Крючкова. — М.: Энергоатомиздат, 2006.— 288с.
14. Родина Е. А., Расчетный анализ нейтронно-физических характеристик МБИР и обоснование его экспериментальных возможностей. - Нац. исслед. центр "Курчатовский институт, Москва, 2013.- 139 с.
15. Шкаровский Д.А. Описание применения и инструкция для пользователей программ, собранных из модулей пакета MCU-5. – Москва: МИФИ. 2012 г. – 11 с.
16. Cardoso F., Pereira C., Veloso M. A. F., A Neutronic Evaluation of Reprocess Fuel and Depletion Study of VHTR Using MCNPX and WIMSD5 Code, Fusion Science and Technology, Volume 61, N. 1 - P. 338-342, 2012.
17. Пискарев С.А. Исследование физических характеристик реактора ввэр-640 при использовании топлива с выгорающим поглотителем. Материалы межвузовской научной конференции. Ч. III: С. 81-82, 2002.
18. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора на тепловых нейтронах: Учебное пособие / Бойко В. И., Кошелев Ф. П., Шаманин И. В., Колпаков Г. Н – Томск: Томский политехнический университет, 2015. – 192 с.

19. Андреев Б.М. Арефьев Д.Г. Баранов В.Ю. Бедняков В.А. и др. Изотопы: свойства, получение, применение. В2т.Т.2/ Под ред. В.Ю. Баранова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 728 с.
20. Бойко В.И., Чертков Ю.Б. Разработка и создание трехмерной потвэльной расчетной модели реактора ввэр-1000. –Томск: Изд-во ТПУ, 2007 – 34 с.
21. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. – М.: Энергия, 1980. – 175 с.
22. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
23. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы»: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.: –Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.03 N 118.
24. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [Текст]. – Введ. 30.06.82. – Утв. постановлением Госстандарта СССР от 30.06.82 N 2987.
25. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.1.004.-85. – Введ. 01.07.92. – Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 14.06.91 № 875.

Приложение А

CELL 7
 SEQUENCE 4
 NGROUP 4
 NMESH 23
 NMATERIAL 5 2
 NREGION 4 1 7
 NRODS 6 1 50 20 2 4 1
 PREOUT
 INITIATE

MATERIAL 1,-1 500.,1	\$
2235 0.001158003	\$
8238 0.025159266	\$
6016 0.052634538	
MATERIAL 2,-1 300.,2	\$
91 0.42034E-01	\$
178 0.10899E-04	\$
93 0.41720E-03	
MATERIAL 3,-1,300.,3	\$
3001 0.06692	\$
6016 0.03346	
MATERIAL 4,-1,300.,4	\$
3001 0.06692	\$
6016 0.03346	
MATERIAL 5,-1 500.,1	\$
2235 0.001146306	\$
8238 0.024905132	\$
6016 0.052102876	\$
2155 1.82215E-05	\$
2157 1.9268E-05	

FEWGROUPTS 5 15 45 69

ANNULUS 1 0.470 0
 ANNULUS 2 4.3765 3
 ANNULUS 3 4.6500 2
 ANNULUS 4 5.6911 4

ARRAY 1 1 3 1.0203 0.0000
 1 1 1.0203 0.9900
 1 1 1.0203 5.2500
 ARRAY 2 1 1 1.0203 3.1500

RODSUB 1 1 0.07 0
RODSUB 1 2 0.3765 5
RODSUB 1 3 0.3785 0
RODSUB 1 4 0.455 2
RODSUB 2 1 0.07 0
RODSUB 2 2 0.3765 1
RODSUB 2 3 0.3785 0
RODSUB 2 4 0.455 2

MESH 1 20 1 1
NPIJ 2

POWERC 1, 41, 15, 1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 35., 1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 50., 1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 50., 1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 50., 1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 100.,1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 100.,1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 100.,1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 100.,1
BEGINC
BEGINC
POWERC 1, 41, 150.,1
BEGINC
BEGINC

Приложение В

(справочное)

Influence of a burnable absorber on the distribution of the energy release in the fuel assemblies of a VVER-1000 reactor

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM73	Ван Цайлунь		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Юрий Борисович	к.ф.-м.н.		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель	Шайкина О. И.			

Abstract

Graduation Thesis: 12 p., 3 figures, 5 references.

Key words: water-water power reactor; VVER-1000; neutron-physical calculation, WIMSD5B software package, reactivity reserve, burnup depth, energy release, power variation diagram, reactivity reserve change.

The object of the study is the water-water power reactors VVER-1000.

Objective: to analyze the effect of a burnable absorber in nuclear reactors to reduce the initial reactivity margin and equalize the distribution of energy release in a nuclear reactor.

In the process of carrying out the master's thesis, the calculation and comparison of the campaign duration and the burnout depth of various fuel compositions of fuel elements in the WIMS-D5 program was carried out.

The study revealed that

- assessment of the effect of a burnable absorber on the neutron; physical characteristics of the VVER-1000 reactor;
- dependences of ^{235}U burnout on burnout depth with a different amount of fuel rod addition.

Content

Introduction.....	4
VVER-1000 reactor.....	5
Burnable absorber assembly.....	10
Conclusion.....	12
References	13

Introduction

There is a clear need for new generating capacity around the world, both to replace old fossil fuel units, especially coal-fired ones, which emit a lot of carbon dioxide, and to meet increased demand for electricity in many countries. Providing one-quarter of the world's electricity through nuclear would substantially reduce carbon dioxide emissions and have a very positive effect on air quality.

The development of large-scale nuclear power determines the need for analysis of currently operating nuclear reactor projects and the need to find and develop new-generation reactors. In the future, several types of reactors will operate in the world. Taking economic factors into account, it can be noted that VVER reactors will play an important role in the nuclear industry.

At present, the improvement of VVER reactors is underway in the direction of increasing the burnup of nuclear fuel. A high burnout depth is provided by a longer fuel cycle. Lengthening the campaign of the reactor is possible by increasing the initial enrichment of the fuel, which leads to the need to compensate for the high excess reactivity at the beginning of the fuel cycles. To ensure compensation of excess reactivity, as well as regulation of the neutron spectrum rigidity during a campaign, it is proposed to use a burnable absorber [1].

In principle, it is possible to choose such rate of burnout of the absorber that the system will be critical at any moment of the reactor operation without any outside interference. This makes it possible to significantly reduce the proportion of reactivity that needs to be quenched by the mechanical control system, equalize the heat generation field and increase the unit specific power. The burnout rate of the absorber is determined by its neutron capture cross section and the nature of the placement in the reactor core.

The purpose of this work is to analyze the effect of a burnable absorber in nuclear reactors to reduce the initial reactivity margin and equalize the distribution of energy release in a nuclear reactor.

VVER-1000 reactor

Reactor is a vertical pressurized vessel (the vessel with a top head) having internals, core, control members and ICIS sensors inside. Reactor is intended for conversion of energy of nuclear fuel fission into thermal and its transfer to the primary coolant of two-circuit reactor plant of the power unit of nuclear power plant. Reactor type –pressurized water-cooled water moderated, of vessel type, with thermal neutrons. The structure of the nuclear reactor is shown in Fig. 1.

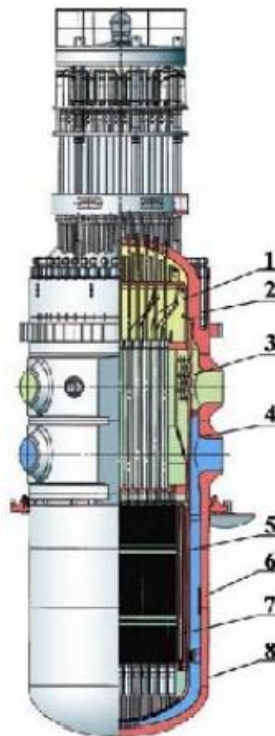


Figure 1 – Reactor assembled: 1 – In-core instrumentation detectors; 2 – Upper unit; 3 – Protective tube unit; 4 – Core barrel; 5 – Core baffle; 6 – Surveillance specimens; 7 – Core; 8 – Nuclear reactor vessel.

The VVER-1000 reactor vessel design is based on the following principles:

- proven manufacturing process and structural materials;
- complete in-shop manufacture of the vessel, tests included;
- possibility of vessel transportation by rail and by sea;
- possibility of periodic in-service inspection of the vessel.

The VVER-1000 reactor core is comprised of an array of 163 hexagonal fuel assemblies as shown in Fig. 2. The fuel assemblies are identical in geometrical

design but are different in fuel enrichment, based on the position of each assembly within the reactor core. The lattice pitch is 23.6 cm. The fuel rods are arranged in a hexagonal structure inside fuel assembly [2]. There are 61 control rods in VVER-1000 reactor core. Each control rod consists of 18 absorber elements, which move inside fuel assemblies in special channels and which have individual drives. All control rods are subdivided into 10 groups (banks). When the reactor is operating at rated power, all groups of control rods are in the top position above the core, except for group #10, which is a work group. Typically it is located at a height 70-90% from the bottom.

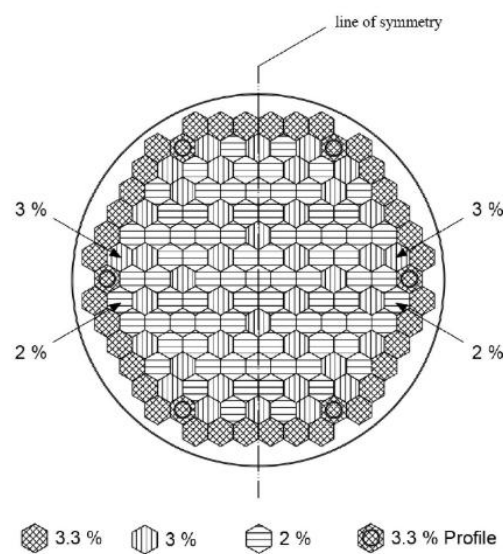


Figure 2 – Initial core loading pattern for the VVER-1000

The core includes 163 fuel assemblies, identical in design, but different in fuel enrichment. The TVSA fuel assembly (FA) is considered as a base version of fuel assembly (FA) design. The core design is developed for the generalized version of FA design (both base and the alternative) providing its operability in using several FA types [3].

FA design consists of the following components:

- top nozzle;
- bundles of fuel rods (fuel rods and Gd fuel rods);
- bottom nozzle.

FA top nozzle provides necessary force of FA compression in the core.

Bundles of fuel rods (fuel rods and Gd fuel rods) consist of a skeleton that houses 312 fuel rods (Gd fuel rods).

The skeleton consists of guiding channels and spacing grids and provides the following throughout the FA service life:

strength and ‘always’ geometry (small bowings) of FA and fuel rods (Gd fuel rods) and spacing of fuel rods (Gd fuel rods).

FA bottom nozzle provides conjugation of FA lower part with the support of the reactor core barrel and presents a guiding device for coolant supply into bundles of fuel rods and Gd fuel rods.

The core of WWER-1000 mock-up (see Fig.3) is composed of 24 fuel assemblies (FA) with 2% ²³⁵U enrichment, 6 FA with 3% ²³⁵U enrichment, and 2 FA with 3.3% ²³⁵U enrichment. The axial core dimension is equal to 125 cm. The dry channel for neutron spectrum measurement is positioned in the core. Control clusters are installed in symmetry positions and each control cluster consists of 3 absorbing pins (boron carbide); the typical position during measurements is one half of active length inserted. Critical concentration of boron acid is equal to 4.6 ± 0.1 g/l at moderator level 25 cm above core [4].

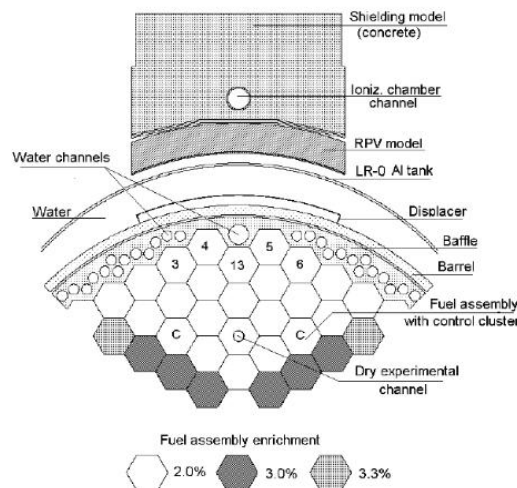


Figure 3 – WWER-1000 mock-up horizontal section (3, 4, 13, 5, and 6 – fuel assemblies mentioned in the text).

In a typical nuclear reactor core comprising a plurality of fuel assemblies, each consisting of a plurality of elongated fuel assemblies each composed of elements or rods. Each fuel rod containing fuel such as uranium dioxide typically (UO_2), or

mixtures of these in the form of a stack of nuclear fuel pellets of fissile material or plutonium dioxide (PuO_2), or a ring may also be used in particulate form. In certain fuel rod arrangement combination together, wherein the tissue array direction, so as to provide sufficient to support a high-speed nuclear fission neutron flux within the core and therefore the release of a large amount of energy in the form of heat. Coolant, such as water, is pumped through the core in order to extract some of the heat generated in the core for producing useful work. The fuel assembly may vary with the desired size and dimensions of the core of the reactor size and design.

When a new reactor starts, its core is often divided into a plurality of groups, for example, three or more sets of components, which by their location within the core and / or the level of enrichment to distinguish them. For example, the first batch or region may be concentrated to the isotope U-235 content of 2.0%. The second batch, or can be concentrated to the region of 2.5% U-235, and the third batch of material can be concentrated to 3.5 percent U-235. After about 10-M month of operation, the reactor is normally closed, and the first fuel batch is removed and replaced with a new batch of the generally higher level of enrichment (up to a preferred maximum level of enrichment). Subsequent cycle repeated sequentially at intervals of approximately 8-24 months range. As described above requires replacement of the fuel, because the reactor can operate as a nuclear device only so long as it remains a critical mass can be. Thus, at the beginning of the fuel cycle, nuclear reactor having hyperreactivity sufficient to allow operation of a particular period of time, typically about 6-18 months.

Since the reactor is operated at only slightly supercritical state, it is necessary to offset the excessive reactivity provided in the beginning of the cycle. Various methods have been devised over the reaction of the starting offset, including control rods inserted in the reactor core and the addition of neutron absorbing elements to the fuel, known in the art and are referred to as "combustible herein poisons "or" burnable absorbers "such neutron absorbers include for example, boron, rolling, cadmium, samarium, erbium and europium compounds. Burnable poisons absorb the initial excess amount of neutrons while (in the best case) is not due to absorption of

neutrons result in new or additional neutrons or becomes the new poisons. In the early stages of operation of such a fuel element, excess neutrons are absorbed by burnable poisons, the burnable poison is preferably transformed into an element with a low neutron cross section, in the later stages of its life, the lower the neutron utilization, the less the element with a low neutron cross section does not substantially affect the reaction of the fuel element.

Burnable absorber assembly

Burnable absorbers (also known as burnable poisons) are materials with a high neutron absorption cross section, which are converted to materials with a relatively low absorption cross section as a result of radiation capture. Due to the burning of the absorbent material, the negative reactivity of the burnable absorber is reduced compared with the activity of the core. In the ideal case, these scavengers should reduce their negative reactivity at the same rate as the excess positive reactivity of the fuel is depleted.

In a pressure reactor, burnable absorbers are used to reduce the initial concentration of boric acid and to reduce the relative power of fresh fuel assemblies. Burnable absorbers are commonly used in the form of boron or gadolinium compounds, which are formed into separate lattice pins or plates or introduced as additives to the fuel. Since they can usually be distributed more evenly than control rods, these absorbers are less destructive for basic power distribution.

The lifespan of the fuel assembly can be increased by combining an initially larger amount of fissionable material, as well as the calculated amount of absorbing burnable absorber. In the early stages of such a fuel assembly, excess neutrons are absorbed by an absorber absorbed by the absorber, which undergoes transformation into elements with a low neutron cross section that do not significantly affect the reactivity of the fuel assembly in the last period of its life when the availability of fissile material is below.

The burnable absorber compensates for a large reactivity margin during the early life of the fuel assembly, but gradually its concentration decreases, it less captures neutrons and releases reactivity during the campaign of the fuel assembly. This ensures a long service life at a relatively constant level of division of the assembly. Accordingly, with a fuel assembly containing both fissionable material and a burnable absorber in a carefully distributed quantity, it is possible to provide an increased service life of the fuel cell with a relatively constant formation of neutrons and reactivity. Burnable absorbers that can be used include boron,

gadolinium, samarium, europium and other rare earth elements, which, when absorbed by neutrons, lead to isotopes with a sufficiently low neutron capture cross section to be substantially transparent to neutrons.

Thus, the inclusion of burnable absorbers in fuel assemblies has been recognized as an effective means of increasing the ability of fissile material and thereby prolonging the life of the reactor. Burnable absorbers are used either homogeneously mixed with fissionable material, that is, with a distributed absorber, or are placed heterogeneously as separate elements in the reactor core. Thus, the net reactivity of the reactor core is maintained relatively constant during the active time of the reactor core.

However, the use of burnable absorbers, either directly with fissionable material or as separate elements in the reactor core, has its limitations on extending the life of the fuel unit beyond its originally developed fissile material replacement cycle [5]. For example, nuclear reactors used to generate electricity, as a rule, were designed for twelve-month replacement cycles of fissile material. At the end of the operating cycle of a nuclear reactor core, it is necessary to refuel it by replacing about one-third of its fuel rods containing fissile material in order to extend the operating cycle of the reactor for another twelve months.

The process of replacing fissile materials is very time consuming, which necessitated the development of means by which the operating cycle of these power generating nuclear reactors can be increased to, for example, eighteen months without the requirement for fissile material.

Conclusion

It has long been proposed to incorporate in the assemblies "burnable poisons", that is to say materials containing an element having a high capture cross section for neutrons and which, under the impact of neutrons, produce no additional neutron and does not give rise to highly absorbent daughters. Among the most used items, there may be mentioned gadolinium, samarium, europium, and above boron.

References

1. L.P. Abagyan, et al. “ Library of resonance parameters LIPAR-5 ” , Questions of atomic science and technology. Ser. Physics of Nuclear Reactors, No. 1 – 2, pp.19-40 (1995).
2. IAEA: WWER-1000 Reactor Simulator - Material for Training Courses and Workshops – Second Edition, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria (2005).
3. NEA- OECD: VVER-1000 LEU and MOX Assembly Computational Benchmark: Specification and Results. Nuclear Energy Agency, Nuclear Science, Organization for economic co-operation and development, Paris, France (2002).
4. A.S. Bikeev, M.A. Kalugin, D.A. Shkarovsky, “ Precision calculation of power density in VVER-1000 core at nominal power considering feedback by the MCU code ” , Atomic Energy, Vol. 114, No. 5, pp. 254-256, (2013).
5. Burnable absorber assembly. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/patents/US4576787?hl=zh-CN>, свободный. – Загл. с экрана.