

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

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оптимизация использования тория в реакторе типа ВВЭР-1000
УДК <u>621.039.577:621.039.543</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5В	Хорохорин Дмитрий Михайлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ	Чертков Ю.Б.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н.		

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

Институт Физико-Технический
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ФЭУ
 _____ Долматов О.Ю.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
0АМ5В	Хорохорин Дмитрий Михайлович

Тема работы:

--	--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	
---	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><small>(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.).</small></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Реактор ВВЭР–1000 - Применение тория в реакторах типа ВВЭР–1000 - Топливо UO₂ - Теплоноситель H₂O - ТВЭЛы стержневые с наружным охлаждением
---	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Обзор литературы - Расчетные исследования с использованием тория - Расчет экономической составляющей - Определение безопасных условий труда - Анализ полученных результатов
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Презентация - Чертеж ячейки
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Оптимизация использования тория в реакторе типа ВВЭР–1000</p>	<p>Чертков Ю.Б.</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Верховская М.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Гоголева Т.С.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Приложение А</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Чертков Ю.Б.	к.ф.-м.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Хорохорин Дмитрий Михайлович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Хорохорин Дмитрий Михайлович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/Ядерные реакторы и энергетические установки

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 потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</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. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Иерархическая структура работ</i>
4. <i>Календарный план проекта</i>
5. <i>Бюджет проекта</i>
6. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.ЭКОН.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Хорохорин Дмитрий Михайлович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Хорохорин Дмитрий Михайлович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
<i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – 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 каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Хорохорин Дмитрий Михайлович		

РЕФЕРАТ

Научно-исследовательская работа 93 с., 15 рис., 19 табл., 18 источников.

Ключевые слова: ядерный реактор; нейтронно-физический расчет; многогрупповой расчет; торий; ториевый топливный цикл; финансовый менеджмент; социальная ответственность.

Объектом исследования является ТВС ВВЭР–1000.

Цель работы – исследовать возможность применения тория в качестве топлива для реакторов типа ВВЭР–1000. Подобрать оптимальную топливную композицию, выделить преимущества перед традиционным топливом.

В процессе исследования проводились расчеты нейтронно-физических характеристик реактора с различными топливными композициями, произведен расчет финансовой составляющей работы, описаны факторы, влиявшие на выполнение работы.

В результате исследования были получены нейтронно-физические характеристики реактора заданного материального состава, выбраны оптимальные концентрации изотопов для топливных композиций, оценена финансовая составляющая работа и описаны внешние факторы, которые влияли на работу.

Степень внедрения: высокая; проект может использоваться в настоящее время, при продолжении дальнейших исследований.

Область применения: ядерные реакторы.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АЭС – атомная электростанция

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор

ВКР – выпускная квалификационная работа

КМ – конструкционные материалы

МэВ – мегаэлектронвольт

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки

НТИ – научно-техническое исследование

НТР – научно-техническая революция

ТВС – тепловыделяющая сборка

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент

ТК – технологический канал

ТКР – температурный коэффициент реактивности

ТН – теплоноситель

ТПУ – Томский политехнический университет

ТЭР – температурный эффект реактивности

ЭВМ – электронная вычислительная машина

ЭМП – электромагнитное поле

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка

AGR – advanced gas-cooled reactor

CANDU – Canada Deuterium Uranium

MOX – Mixed-Oxide fuel

HTGR – high-temperature gas-cooled reactor

Содержание

РЕФЕРАТ	7
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	8
Введение.....	11
1 Водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР)	14
1.1 Общие сведения	14
1.2 Краткое описание активной зоны водо-водяного реактора под давлением (ВВЭР–440, ВВЭР–1000).....	15
1.3 Конструкции тепловыделяющих элементов	16
1.4 Торийевый топливный цикл	18
1.5 Программа WIMSD5B	23
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	27
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	27
3.1.1 Анализ конкурентных технических решений	28
3.1.2 SWOT-анализ.....	30
3.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	33
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта	33
3.2.2 Контрольные события проекта	33
3.2.3 План проекта.....	34
3.3 Бюджет научного исследования	37
3.3.1 Расчёт материальных затрат	37
3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	38
3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	40
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	41
3.3.5 Накладные расходы.....	41
3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	42

3.4	Организационная структура проекта	42
3.5	Матрица ответственности	43
3.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	45

Введение

Запасы тория в земной коре в несколько раз превышают запасы урана, что, потенциально, существенно увеличивает сырьевую базу ядерной энергетики в случае использования замкнутого ядерного топливного цикла.

Известны 30 изотопов тория и ещё 3 возбуждённых метастабильных состояния некоторых его нуклидов. Только один из изотопов тория (^{232}Th) обладает достаточно большим периодом полураспада по отношению к возрасту Земли, поэтому практически весь природный торий состоит только из этого нуклида. Сам ^{232}Th тепловыми нейтронами не делится, но поглощение нейтрона ^{232}Th приводит к образованию ^{233}U , имеющего высокую вероятность испускать нейтроны в результате деления потоками тепловых и промежуточных нейтронов. Поэтому его роль в ядерном реакторе такая же, как у ^{238}U : при поглощении нейтронов они превращаются во вторичные делящиеся тепловыми нейтронами нуклиды.

^{232}Th является лучшим «сырьевым» изотопом по сравнению с ^{238}U для реакторов с тепловым спектром нейтронов. ^{233}U испускает более двух нейтронов в расчёте на один захват первичного нейтрона для широкого набора реакторов с тепловым спектром нейтронов.

Диоксид тория имеет большую химическую и радиационную стойкость в сравнении с диоксидом урана, а также лучшие теплофизические свойства (теплопроводность, коэффициент линейного расширения).

Вторичным ядерным топливом в урановых тепловых реакторах являются два изотопа плутония: ^{239}Pu и ^{241}Pu . Первый из них образуется в результате поглощения тепловых и резонансных нейтронов ядрами ^{238}U , второй является результатом двукратного радиационного захвата нейтронов ядрами ^{239}Pu . Вторичным ядерным топливом в ториевых тепловых реакторах является изотоп урана: ^{233}U .

^{233}U имеет самое большое значение коэффициента $\eta_{\text{эф}}$, характеризующего число вторичных нейтронов на один поглощенный топливом нейтрон, представленный в таблице 1.

Таблица 1 – Число вторичных нейтронов на один поглощенный нейтрон

Нуклид	^{233}U	^{235}U	^{239}Pu	^{241}Pu
$\eta_{\text{эф}}$	2,29	2,05	1,8	2,18

При замене уранового цикла на ториевый в ядерном реакторе значительно снизятся темпы образования долгоживущих младших актинидов в ториевых реакторах. Если ториевый реактор будет работать исключительно в ^{232}U -Th цикле, то актиниды с массами свыше 237 будут накапливаться в нём в пренебрежимо малых количествах.

Изотоп, к которому в ториевом цикле привлекается особенное внимание - это ^{232}U . Он образуется за счёт реакций (n,2n) на изотопах ^{232}Th , ^{233}Pa и ^{233}U . Период полураспада ^{232}U составляет 69 лет. Среди его дочерних продуктов есть, например, ^{208}Tl - изотоп с очень коротким временем жизни, испускающий жёсткие гамма-частицы (2,6 МэВ).

Из-за накопления ^{232}U мощности дозы в ториевом топливе будут расти. Это создаёт дополнительные проблемы при обращении с ОЯТ ториевых реакторов, в частности, при рециклировании урана. Но одновременно наличие ^{232}U в выгоревшем топливе увеличивает защищённость реактора и ЯТЦ от распространения.

Кроме этого ториевый цикл предпочтителен при утилизации оружейного плутония поскольку не приводит к его воспроизводству как в случае использования U-Pu топливного цикла.

«Классическим» недостатком ториевого топлива считается сравнительно большой период полураспада его промежуточного продукта ^{233}Pa (27 суток), что на порядок больше, чем для ^{239}Np (2,36 суток). В результате, в ториевых реакторах образуется значительная равновесная

концентрация ^{233}Pa , и за счёт захватов на нём возникнут дополнительные потери нейтронов.

В ториевых реакторах будет обязательно наблюдаться протактиниевый эффект, аналогичный по механизму образования нептуниевому эффекту в быстрых реакторах с урановым или уран-плутониевым топливом, но более неприятный с точки зрения управления. В проектах ториевых реакторов должен учитываться подъём реактивности при длительных остановках вследствие распада ^{233}Pa в делящийся изотоп ^{233}U .

Работы по исследованию возможностей использования тория в ядерном топливном цикле связаны, в основном, либо с наличием больших запасов тория (Индия), либо с желанием сократить потребление природного урана (Норвегия), либо с наличием ядерных энергетических технологий, способных использовать преимущества ториевого топливного цикла (Канада, Россия).

Актуальность работы обусловлена необходимостью развития уран-ториевого топливного цикла, который более предпочтителен для утилизации оружейного плутония и существенно увеличивает сырьевую базу при использовании замкнутого топливного цикла.

Новизна работы заключается в применении новой расчетной модели, которая ускоряет и упрощает процесс подбора нужных концентраций топлива.

Целью работы являлся анализ возможности применения тория в реакторах типа ВВЭР–1000, выбор оптимальной топливной композиции.

Были выделены следующие задачи:

- создание модели топливной сборки в программе WIMSD5B;
- расчет различных видов топлива;
- определение изменения изотопного состава;
- анализ полученных результатов.

1 Водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР)

1.1 Общие сведения

Среди огромного многообразия разработанных типов реакторов для АЭС важное место занимают водо-водяные энергетические реакторы (ВВЭР).

Преимущественное использование водо-водяных реакторов в ядерной энергетике объясняется рядом причин. К ним прежде всего следует отнести то, что вода оказалась наиболее подходящим материалом для ядерных реакторов в качестве замедлителя и теплоносителя. Надо учесть при этом, что она не дефицитна и весьма доступна, издавна используется в различных отраслях техники и поэтому её свойства хорошо изучены. Как замедлитель вода имеет наивысшую замедляющую способность, поэтому водо-водяные реакторы компактны, обладают сравнительно высоким энерговыделением с единицы объема активной зоны. Использование воды одновременно в качестве замедлителя и теплоносителя позволило создать реакторы, сравнительно простые по устройству. Появляется возможность применения одноконтурной схемы с подачей пара теплоносителя в силовую установку.

ВВЭР обладают высокой устойчивостью и саморегулируемостью благодаря отрицательному коэффициенту реактивности. Наведенная активность воды обусловлена короткоживущими нуклидами, что несколько упрощает биологическую защиту и доступ к оборудованию первого контура. Вода как теплоноситель эффективно отводит тепло.

Несмотря на указанные преимущества воды использование её в ядерных реакторах сопряжено и с рядом трудностей. Сравнительно высокое поглощение нейтронов водой отрицательно сказывается на балансе нейтронов в активной зоне и предопределяет применение только обогащенного урана, вследствие чего коэффициент воспроизводства в водо-водяных реакторах сравнительно невысок. Сильное замедление нейтронов в воде может привести к большим локальным неравномерностям

распределения энерговыделения. Поэтому при конструировании водо-водяных реакторов необходимо предусмотреть равномерное распределение воды в активной зоне. Сравнительно высокая коррозионная активность воды с конструкционными материалами требует специальной и дорогостоящей системы водоподготовки, что заметно складывается на эксплуатационных затратах. Для получения приемлемой температуры необходимо высокое давление. В связи с ограничением температурного уровня для установок с реакторами типа ВВЭР характерен цикл с насыщенным паром. Удельный тепловой поток при использовании водного теплоносителя ограничен критическими тепловыми нагрузками. Все это необходимо учитывать при сооружении водо-водяных реакторов.

1.2 Краткое описание активной зоны водо-водяного реактора под давлением (ВВЭР–440, ВВЭР–1000)

В настоящее время таких реакторов построено и находится в эксплуатации довольно большое количество. Все узлы реактора находятся внутри прочного корпуса, представляющего собой вертикальный толстостенный сосуд с эллиптическим днищем, сверху закрытый объемной крышкой. Корпус водо-водяных реакторов является ответственным элементом, так как должен выдерживать высокое давление теплоносителя. В современных водо-водяных энергетических реакторах давление лежит в диапазоне примерно от 12 до 17 МПа. Диаметр корпуса обычно ограничен его транспортабельностью и не должен превышать 4.5 метров по наружному габариту. Корпус изготавливается в заводских условиях из термостойкой перлитной стали, а изнутри делается наплавка (плакировка) слоем 10-20 мм из аустенитной нержавеющей стали. Назначение наплавки - предотвратить контакт воды с перлитной сталью и тем самым уменьшить выход продуктов коррозии в контур. Кроме того, в воде первого контура вследствие радиолиза всегда имеется то или иное количество свободного водорода и

непосредственный контакт теплоносителя с перлитной сталью приводит к насыщению её водородом. Этот контакт необходимо предотвратить, так как насыщение водородом вызывает охрупчивание стали, она теряет прочность и пластичность. В верхней части корпуса расположены патрубки для подвода и отвода теплоносителя. Для опоры и дистанцирования топливных кассет, а также для организации потока теплоносителя внутри корпуса служит корзина активной зоны, обычно представляющая собой обечайку, в нижней части которой крепится опорная плита, а в верхней - устройство для дистанцирования топливных кассет.

Активная зона реакторов типа ВВЭР из сравнительно плотно упакованных шестигранных ТВС. ТВС в свою очередь собраны из ТВЭЛов. ТВЭЛы омываются снаружи водой под давлением.

В конструкции активной зоны и внутрикорпусных устройств предусматривается размещение органов регулирования и компенсации избыточной реактивности. В отечественных водо-водяных реакторах первого поколения используются подвижные поглощающие сборки. В серийном варианте ВВЭР-440 общее число сборок равно 349, из них 37 поглощающие. В поглощающих сборках размещены боросодержащие элементы, являющиеся сильными поглотителями. Дополнительно для компенсации избыточной реактивности в водо-водяных реакторах используется жидкостное борное регулирование. Перегрузка топлива в таких реакторах производится после отключения нагрузки и остановки реактора. Перегрузка реактора этого типа на ходу трудноосуществима.

1.3 Конструкции тепловыделяющих элементов

ТВЭЛы и ТВС ядерного реактора — один из наиболее ответственных его узлов. Они находятся в зоне максимальных температур и облучения и работают в наиболее тяжелых условиях. В то же время выход из строя (разгерметизация ТВЭЛ) приводит к опасным последствиям - выходу

радиоактивных продуктов деления в контур теплоносителя. Поэтому одна из основных задач при конструировании ядерного реактора - создание надежных ТВЭЛ.

Конструкция и материалы ТВЭЛ и ТВС должны обеспечивать их надёжную работу при высоких плотностях энерговыделения и при больших глубинах выгорания. ТВЭЛ также выполняют функции барьеров безопасности, предотвращающих выход высокоактивных продуктов деления в теплоноситель.

При выборе конструкции ТВЭЛ и его размеров необходимо учитывать следующие соображения:

- чем больше отношение поверхности к объёму, тем меньше напряжённость единицы поверхности ТВЭЛ;
- с возрастанием отношения поверхности к объёму ТВЭЛ уменьшаются размеры активной зоны, но одновременно возрастает доля конструкционных материалов, снижаются прочностные и вибрационные характеристики ТВЭЛ;
- поперечные размеры ТВЭЛ должны уменьшаться с увеличением температуры теплоносителя и тепловых потоков, а также с уменьшением теплопроводности топлива;
- конструкция и размеры ТВЭЛ существенно влияют на параметры размножающей среды и загрузку топлива в реактор.

В зависимости от геометрической формы различают ТВЭЛы: блочковые, стержневые, кольцевые, трубчатые, пластинчатые, ленточные, шаровые, призматические. Чаще всего применяются ТВЭЛы стержневой и трубчатой формы (реже пластинчатые) в оболочках из сплавов на основе алюминия, железа, циркония, а высокотемпературные ТВЭЛы в керамической оболочке.

Обычно ТВЭЛ состоит из топливного сердечника, оболочки, отделяющей сердечник от теплоносителя и замедлителя, и концевых деталей, герметизирующих полость сердечника. Внутри оболочки

предусматривают свободные объёмы для компенсации разности термических расширений сердечника и оболочки и для сбора газообразных продуктов деления. Для металлического урана этот зазор необходим ещё для компенсации увеличения объёма при работе. Обычно зазор не превышает (0,05-0,2) мм. Для улучшения теплопередачи зазор заполняют газами или жидкими металлами. Кроме радиального зазора, необходимо предусмотреть газовые полости, в которых накапливаются газообразные продукты деления (в основном, атомы ксенона и криптона). Эти полости могут быть выполнены в виде осевого зазора, расположенного на конце ТВЭЛ (за пределами активной зоны), или в виде отверстия по центру сердечника, распределенного по длине, либо в форме углублений на стыках таблеток, из которых состоит сердечник.

Выбор типов ТВЭЛ и ТВС их размеров целесообразно проводить по прототипам. В данной работе выбран ТВЭЛ стержневой формы с наружным охлаждением и ТВС шестигранной формы, прототипом служили ТВС с ТВЭЛами реактора ВВЭР–1000.

1.4 Ториевый топливный цикл

Интерес к торию, как топливу для ядерных реакторов объясняется возможностью образования делящегося изотопа ^{233}U в результате захвата теплового нейтрона природным ^{232}Th . Как правило, в топливных системах отработавшее топливо перерабатывается с целью извлечения делящегося ^{233}U . Однако в некоторых случаях ^{233}U сжигается на месте без переработки и производства нового топлива. Так как ^{233}U не существует в природе, топливный цикл может начаться лишь на существующем в природе делящемся изотопе, а именно на ^{235}U . Если в топливе накоплено достаточное количество ^{233}U , то реактор может работать длительное время лишь на тории и воспроизводимом ^{233}U .

Реакторы на ториевом топливном цикле подобны реакторам на быстрых нейтронах. В реакторах этого типа естественный ^{232}Th при поглощении нейтронов превращается в делящийся изотоп урана (^{233}U). Этот изотоп, участвуя в цепной реакции деления, выделяет теплоту и избыточные нейтроны, которые преобразовывают еще большее количество тория в ^{233}U . Такая технология привлекательна тем, что, во-первых, позволяет избежать производства плутония, во-вторых, в качестве топлива используется довольно распространенный торий, а, в-третьих, эффективность использования топлива может быть близка к эффективности реакторов на быстрых нейтронах. Однако, количество расщепляющегося ^{233}U , производимого в такой установке, не достаточно, чтобы поддерживать цепную реакцию деления. Поэтому, хотя интерес к таким проектам не затухает вот уже на протяжении последних 30 лет, тем не менее до их промышленного применения пока еще далеко.

Отметим, что реакторы на тепловых нейтронах лучше работают на топливе $^{232}\text{Th} - ^{233}\text{U}$, тогда как реакторы на быстрых нейтронах более эффективны для уран-плутониевого цикла. Внедрение ториевого топлива в атомную энергетику диктуется несколькими причинами: Запасы тория на планете превосходят запасы урана в 4 - 5 раз. Ториевые месторождения более доступны, чем урановые. Особенно это важно для России: российских разведанных запасов урана хватит только на 20 лет, а запасов тория в месторождениях в районе Новокузнецка и Томска (туганское месторождение тория, титана, циркония) достаточно много.

С точки зрения наработки делящихся нуклидов, преимущество тория перед ураном состоит в его тугоплавкости: лишь при 1400-1500°C кристаллическая решетка тория начинает претерпевать фазовые превращения. Это позволяет реактору на ториевом горючем работать при более высоких температурах. . Ториевая энергетика, в отличие от урановой, не нарабатывает плутоний и трансурановые элементы. Это важно как с экологической точки зрения, так и с точки зрения нераспространения

ядерного оружия (Выделение из уранового топлива оружейных актиноидов позволяет создать государствам-«изгоям» и террористам собственное ядерное оружие). Поскольку ториевая энергетика принципиально неосуществима без использования в ней оружейного урана, реакторы на ториевом горючем естественным образом позволяют использовать непосредственно оружейный уран (не разбавляя его ^{238}U , как приходится делать в урановом топливном цикле). . Ядерные реакторы на ториевом топливе более безопасны, чем на урановом, поскольку ториевые реакторы не обладают запасом реактивности. Поэтому никакие разрушения аппаратуры реактора не способны вызвать неконтролируемую цепную реакцию.

Как уже упоминалось, при всех различиях современных быстрых и тепловых реакторов есть одна черта, их объединяющая. И тот и другой работают по схеме выжигания активной компоненты топлива (^{235}U , ^{239}Pu) в активной зоне: в них первоначально закладывается активного материала больше, чем это требуется для непосредственного поддержания критического уровня. Стационарное положение балансируется стержнями - поглотителями нейтронов. Поэтому ни один из ныне существующих реакторов, работающих по принципу выгорания, нельзя отнести к безусловно безопасным, ибо, если по какой-то причине регулирующие стержни покинут активную зону, то возникнет значительная надкритичность. Цепная реакция в таких условиях будет развиваться настолько быстро, что никакая аварийная защита не поможет.

Урановый реактор слабо защищен от террористического акта. Ни одна атомная электростанция не выдержит удара крупного самолета. Если произойдет разрушение узла привода поглотительных стержней, систем управления защиты, ядерный реактор взорвется, как атомная бомба. В этой связи решающим преимуществом модернизации действующих атомных станций с переводом их на торий является то, что ториевый реактор по своей внутренней физической сути не способен привести к ядерному взрыву. Реактор можно разрушить до основания, конечно, дорогую цену заплатить за

загрязнение зала, самой территории станции, но он никогда не взорвется подобно Чернобылю. Так что единственная возможность предельно обезопасить ныне действующие атомные станции - это перевести их через модернизацию на использование тория. Ториевый реактор способен обеспечить полную ядерную безопасность.

В ходе модернизации действующих атомных электростанций в плане перевода их на торий, в тех же габаритах, в корпусе ядерного реактора можно разместить ториевые тепловыделяющие элементы, которые с этого же объема активной зоны снимут в 2-3 раза больше энергии. В ходе реконструкции не строится новая атомная станция, а простой сменой топлива удваивается мощность старой, путем добавления паровых турбин, теплообменников и электрических машин. Важно так же, что ториевая энергетика позволяет обеспечить непрерывную работу реактора на 30-50 лет. (Сегодня атомная станция раз в год или в полтора года останавливается для перезагрузки). За это время никаких перезагрузок топлива, никаких ядерных отходов, никаких проблем переработки.

Использование тория на модернизированных реакторах действующих АЭС позволяет решить следующие проблемы:

В отличие от существующих реакторов, которые работают на смеси изотопов ^{235}U (делящийся) и ^{238}U (изотоп для производства плутония), предлагается использовать комбинированное топливо: ^{235}U (изотоп для возбуждения реакции деления) и ^{232}Th (изотоп для получения основного делящегося изотопа ^{233}U). В ториевом реакторе нарабатывается не ^{239}Pu , а изотоп ^{233}U , что обеспечивает высокое выгорание ядерного топлива. Отсутствие в цикле плутония важно с точки зрения нераспространения ядерных материалов.

Ториевый цикл обладает следующими преимуществами:

— отработавшие твэлы не нуждаются в радиохимической переработке, что значительно снижает риск загрязнения среды;

- снимается проблема накопления плутония, а, следовательно, и его распространения (в виде оружия);
- не требуется создавать новых реакторов, а достаточно модернизировать существующие под загрузку твэлы с новым топливом;
- ториевые реакторы обладают повышенной внутренней ядерной безопасностью.

Сплавы тория с небольшими добавками оружейного урана и плутония в ядерном отношении безопасны и не требуют специальных мер при хранении. Они опасны только в радиационном отношении, однако это их свойство может служить дополнительной гарантией от хищения.

Возможно, в будущем торий займет место урана и станет важнейшим стратегическим материалом - энергоносителем.

Недостатки ториевого цикла то же хорошо известны:

- Ториевый цикл, в целом, дороже уранового.
- Исходные ториевые твэлы обладают высокой гамма-радиоактивностью, что затрудняет обращение с ними.

Топливо из тория и образующегося ^{233}U характеризуется жестким γ -излучением энергии 2,6 Мэв, источником которого является ^{208}Tl , образующийся при радиоактивном распаде ^{232}U , образовавшегося из ^{233}U в результате (n, 2n) реакции. Жёсткое γ -излучение обуславливает необходимость дистанционного управления всеми операциями топливного цикла из операторского помещения, обеспеченного защитным экраном, что увеличивает затраты ториевого цикла по сравнению с урановым топливным циклом. Поэтому ториевое топливо пойдет в энергетические реакторы только после существенной модернизации уран-ториевого цикла, т.е. после создания новой технологии производства тепловыделяющих элементов.

1.5 Программа WIMSD5B

Программа WIMS (Winfrith Improved Multigroup Scheme, версии D4, D5B) предназначена для нейтронно-физического расчета ячеек ядерных реакторов различного типа (включая расчет выгорания). Данная программа была передана в Россию в конце 1977 г, а в сентябре 1990 г. она была адаптирована для персональных компьютеров.

Программа WIMS (написана на языке ФОРТРАН) – хорошо известная английская программа, предназначенная для детального, нейтронно-физического расчета ячеек реакторов различных типов, в том числе и с учетом выгорания. Программа применяется для расчетов тепловых и быстрых реакторов. Она успешно применяется и для проектирования реакторов, и для расчетов и анализа различных эффектов в существующих реакторах.

В программе используется универсальную 69-групповую библиотеку констант, подготовленную на основе файлов оцененных нейтронных данных (ENDF, JEF, JENDL) в ГИЦ РФ ФЭИ.

Требуемая входная информация сравнительно невелика по объему. Входная информация вводится в достаточно простой форме и содержит описание рассматриваемого варианта, т.е. сведения о материалах и геометрии ячейки. Программа дает возможность пользователю выбирать на разных этапах расчета различные физические модели в методы решения.

В программе предусмотрен очень подробный вывод результатов. Вывод производится по частям (сегментам, блокам), причем пользователю предоставлена возможность выбора, какие блоки и с какой детальностью требуется выводить на печать.

Спектр деления соответствует 27 группам, причем максимум приходится на 4 группу (2,231 - 1,353 МэВ). Интервал резонансных энергий (9,118 КэВ - 4 эВ) включает 12 групп. Тепловая область энергий (1 эВ - 0) содержит 30 групп.

Библиотека констант содержит 90 нуклидов. Для некоторых из них имеются по несколько наборов микроконстант, полученных по разным теоретическим моделям. Разные наборы констант имеются для водорода, бора, изотопов урана и плутония.

Программа может решать задачи в плоской, цилиндрической и сферической одномерных геометриях и в двумерной rz-геометрии, но в данной работе решается задача только в одномерной цилиндрической геометрии.

Расчет задачи о пространственно-энергетическом распределении плотности потока нейтронов производится в 2 этапа. На первом этапе реальная исходная ячейка преобразуется в четырехзонную (топливо-оболочка- теплоноситель-замедлитель) упрощенную, эквивалентную по площади реальной.

Расчет пространственно-энергетического распределения нейтронов в ячейке реактора происходит следующим образом:

- рассчитывается детальный спектр в 69 группах в каждой из зон, типичной для ячейки: в топливе, оболочке, теплоносителе и замедлителе;
- осуществляется свертка сечений к заданному малогрупповому приближению, в котором рассчитываются детальные пространственные распределения нейтронов по ячейке;
- проводится модификация полученного решения с учетом утечки;
- малогрупповые потоки разворачиваются в 69-групповое представление и рассчитываются скорости реакций для заданных изотопов.

На первом этапе для решения уравнения переноса нейтронов в интегральной форме используется метод вероятности первых столкновений (ВПС) для решения уравнения переноса нейтронов в интегральной форме. Реальная, исходная ячейка преобразуется в трех- или четырехзонную ячейку (т.е. ячейку упрощенной геометрии). В цилиндрической геометрии эта ячейка содержит концентрические зоны с условными названиями: «топливо»(1), «оболочка»(2), «теплоноситель»(3) и «замедлитель»(4), причем последние

две зоны можно объединять в одну. Разбиение исходной ячейки на зоны, т.е. включение элементов ячейки в ту или иную зону, производится пользователем.

Для каждой из этих зон ячейки рассчитывается детальный 69-групповой нейтронный спектр. При расчетах используется метод вероятностей первых столкновений, т.е. решается уравнение переноса в интегральной форме.

На последующих этапах пользователю представляется выбор:

- метод дискретных ординат – DSN - решается уравнение переноса в дифференциальной форме для бесконечных цилиндров или пластин;

- метод вероятности первых столкновений – ВПС - уравнение переноса решается для задач с цилиндрической и плоской геометрией, кластеры, конечные стержни и пластины; имеются возможности решать задачи в двумерных геометриях и в полиячейках;

При применении опции PERSEUS используется предположение об изотропии углового распределения нейтронов, пересекающих границу рассматриваемой зоны. В опциях PIJ и PRIZE используется непосредственное вычисление интегралов, через которые выражаются вероятности.

Главным назначением опции PIJ является расчет цилиндрических, квадратных и гексагональных кластеров.

Точные вероятности столкновений для решения задач в r,z-геометрии выполняются при опции PRIZE. Рассматриваемые ячейки при этом должны обладать осевой симметрией (допустимы пластины, конечные и бесконечные цилиндры).

Предусмотрены возможности расчета возмущенного потока в реакторе при введении различных образцов, расчета различных функционалов, групповых констант ячейки и различных материалов, входящих в ее состав.

Решение системы приведенных уравнений производится итерационным методом, в результате получаются плотности потоков нейтронов и собственное значение K_{∞} .

Перед проведением второго этапа расчетов сначала производится свертка групповых сечений к малогрупповому приближению, заданному пользователем. В этом приближении и производится расчет детального пространственного распределения плотности потока нейтронов по ячейке уже в реальной геометрии.

Затем (на втором этапе) ведутся расчеты детального пространственного распределения нейтронов в ячейке. При этом пользователь может выбрать один из двух методов расчета: или метод вероятностей столкновений, или метод дискретных ординат (в последнем решается уравнение переноса в дифференциальной форме).

При выборе метода вероятностей столкновений (ВПС), в отличие от первого этапа, задача решается с разбиением на любое число геометрических зон.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертационной работе разработана расчетная модель в программе WIMSD5B для определения концентраций топлива из смеси урана и тория для реакторов типа ВВЭР –1000.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является выбор оптимального топливного состава для ТВС реактора ВВЭР –1000.

Целевым рынком данного исследования несомненно будут являться государственные корпорации по энергетике, атомная и смежные отрасли научной промышленности, в частности по атомной энергетике. Примером могут служить такие госкорпорации как Росэнергоатом (Россия), Минэнерго (Беларусь), Энергоатом (Украина).

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данной методики. Результаты сегментирования представлены в рисунке 3.1.

		Производство ТВС с торием для реакторов ВВЭР –1000			
		Атомная промышленность	Научная отрасль	Тяжёлая промышленность	Экспортный контроль
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 3.1 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию оптимальной методики измерения

3.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Главное преимущество – это расчёт параметров, при которых происходит выгорания топлива в ТВС. Расчётная модель позволяет также избавиться от многочисленных экспериментов и крупных финансовых затрат на их реализацию. Конкурентами являются:

- Экспериментальное облучение ТВС с торием с нужными параметрами;
- Теоретический расчёт с применением других программных комплексов.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 3.1.1. 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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.1.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство эксплуатации	0,15	5	4	3	0,75	0,6	0,45
3. Экономичность	0,03	5	2	3	0,15	0,06	0,09
4. Надежность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
5. Закрытость получаемых данных	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
6. Потребность в материальных ресурсах	0,05	5	1	4	0,25	0,05	0,2
7. Стабильность	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
8. Доступность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,04	5	4	3	0,2	0,16	0,12
2. Стоимость разработки	0,12	5	1	3	0,6	0,12	0,36
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
4. Финансирование разработанного метода	0,1	5	1	3	0,5	0,1	0,3
Итого	1				5	2,92	3,25

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что разработанная в данной диссертационной работе модель является наиболее оптимальной для использования в практических целях. Конкурентные методы имеют ряд недостатков, исключаемых разработанной моделью. В свою очередь разработанная модель позволяет существенно снизить финансовые затраты,

обеспечивает высокую точность расчётных значений и имеет высокий потенциал развития в дальнейшем.

3.1.2 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.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице 3.1.2 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 3.1.2 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+
B3	+	+	+	+	+
B4	+	+	+	+	+
B5	+	+	+	+	+

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

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 3.1.3.

Таблица 3.1.3 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>C1. Актуальность выбранной темы.</p> <p>C2. Применение современного оборудования и программного кода.</p> <p>C3. Бюджетное финансирование.</p> <p>C4. Получение результатов высокой точности.</p> <p>C5. Возможность оптимизации расчётной модели.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Ограниченное применение конкретной модели.</p> <p>Сл2. Требуется экспериментальное подтверждение результатов.</p> <p>Сл3. Закрытость программного кода.</p> <p>Сл4. Ограниченный круг потребителей.</p> <p>Сл5. Ограниченные возможности расчёта (только для определенных компонентов).</p>
--	---	--

Продолжение таблицы 3.1.3– SWOT-анализ

<p>Возможности: В1. Использование модели для исследований. В2. Разработка рекомендаций по применению модели для персонала. В3. Расширение возможностей расчётной модели. В4. Создание материалов требуемых параметров. В5. Дополнительный спрос на результаты исследования.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Полное обеспечение условий для создания и применения модели для расчётов. 2. Появление дополнительного спроса и финансирования, обеспеченных актуальностью тематики и использованием современных расчётных моделей. 3. Высокая точность получаемых результатов позволяет повысить спрос на расчётную модель</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Необходимо экспериментальное подтверждение, что возможно реализовать в условиях вуза. 2. Закрытость расчётной модели не отражается на точности результатов. 3. Круг потребителей можно увеличить с помощью увеличения возможностей расчётной модели.</p>
<p>Угрозы: У1. Низкий спрос со стороны заказчиков. У2. Вероятность разработки подобных расчётных моделей другими организациями. У3. Сложность в продвижении модели. У4. Низкий спрос. У5. Разработка новейших моделей расчёта.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 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. 3. Дополнительное финансирование позволит продвинуть расчётную модель на рынок.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Создание подобных моделей другими организациями, развитие новейших методов анализа, ограниченное количество времени доработки модели, несовершенства модели – всё это представляет собой наиболее уязвимые места разработки.</p>

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества разработанной модели значительно преобладают над её недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.



Рисунок 3.2.1 – Иерархическая структура работ

3.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2017	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2017	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2017	

Продолжение таблицы 3.2.2 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
4	Подбор и изучение материалов по теме	10.02.2017	Отчёт
5	Календарное планирование работ	12.02.2017	План работ
6	Изучение возможностей расчётной модели	13.02.2017	Отчёт
7	Освоение методики расчёта на практике	14.02.2017	Отчёт
8	Проведение расчётов	15.02.2017- 30.03.2017	Отчёт
9	Анализ полученных данных	28.03.2017	Отчёт
10	Обобщение и оценка результатов	30.03.2017	Отчёт
11	Составление пояснительной записки	14.02.2017- 25.04.2017	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2017	
13	Подготовка к защите	27.04.2017- 25.05.2017	

3.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 3.2.3.

Таблица 3.2.3 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2017	3.02.2017	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2017	5.02.2017	Руководитель

Продолжение таблицы 3.2.3 – Календарный план проекта

3	Выбор направления исследований	5	5.02.2017	10.02.2017	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2017	12.02.2017	Студент
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2017	13.02.2017	Руководитель, студент
6	Изучение возможностей расчётной модели	1	13.02.2017	14.02.2017	Студент
7	Освоение методики расчёта на практике	1	14.02.2017	14.02.2017	Студент
8	Проведение расчётов	45	15.02.2017	30.03.2017	Студент
9	Анализ полученных данных	2	28.03.2017	30.03.2017	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2017	30.03.2017	Руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2017	25.04.2017	Студент
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2017	27.04.2017	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	29	27.04.2017	25.05.2017	Студент

В таблице 3.2.4 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 3.2.4 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Разработка технического задания	Руководитель	2	■														
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	■														
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	5	■	■													
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	2		■													
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1	■	■													
6	Изучение возможностей расчётной модели	Студент	1		■													
7	Освоение методики расчёта на практике	Студент	1		■													
8	Проведение расчётов	Студент	45		■	■	■	■	■									
9	Анализ полученных данных	Студент	2						■	■								
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, студент	1						■	■								
11	Составление пояснительной записки	Студент	72		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент	1									■	■					
13	Подготовка к защите	Студент	29											■	■	■	■	

■ – Руководитель ■ – Студент

3.3 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$ – 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, принимаются в пределах 15 – 25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и приобретение канцелярских товаров. Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 3.3.1.

Затраты на электроэнергию компьютера рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 960 = 2784,$$

где $C_{эл}$ – тариф на электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 2784 рубля.

Таблица 3.3.1 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электричество	–	480 кВт·ч	5,8	2784
Бумага	SvetoCopy	110	0,90	99
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Ручка	Pilot BPS-GP	1	50	50
Доступ в интернет	–	4 месяца	400	1600
Всего за материалы				2898
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье C_m				4698

3.3.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

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

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d,$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 48раб.дня $M=10,4$ месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 56раб.дней $M=10,2$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 3.3.2).

Таблица 3.3.2 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
– выходные дни;	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	56	48
– невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	199

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2275руб/месяц с учетом районного коэффициента. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$Z_{\text{дн}} = (2275 \cdot 10,4) / 199 = 118,89 \text{руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$Z_{\text{осн}} = 118,89 \cdot 84 = 9986,76 \text{руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

– оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.

– стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

– иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник с должностью доцент. Оклад доцента составляет 26300 рублей. Научный руководитель работает на 0,4 ставки. Районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = 26300 \cdot 0,4 \cdot 1,3 = 13676 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (13676 \cdot 10,4) / 243 = 574,05 \text{ руб / день.}$$

3.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15 % от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

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

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы;

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

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 3.3.3.

Таблица 3.3.3 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата, руб.	Руководитель	Студент
Основная зарплата	13676	9986,76
Дополнительная зарплата	2065,05	-
Зарплата исполнителя	15741,05	9986,76
Итого по статье $C_{зп}$	25727,81	

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (13676 + 2065,05) = 4722,32 \text{ руб.}$$

3.3.5 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 12–16 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{\text{накл}} = 14 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,14 \cdot (13676 + 2065,05 + 9986,76 + 4722,32) = 4263,01 \text{ руб.}$$

3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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 таблице 3.3.6.

Таблица 3.3.6 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	4698,00
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	25727,76
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	2065,05
4. Отчисления во внебюджетные фонды	4722,32
5. Накладные расходы	4263,01
Бюджет затрат исследования	41476,14

3.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный

руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель). Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 3.4.



Рисунок 3.4 – Организационная структура научного проекта

3.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Изучение возможностей расчётной модели					И
Освоение методики расчёта на практике					И
Проведение расчётов	О				И
Анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

– ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;

- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.
- утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.6). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{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 разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{фир}}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{110843,85}{110843,85} = 1;$$

Для аналогов соответственно:

$$I_{\text{финал}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{161260,30}{110843,85} = 1,45; I_{\text{финал}}^{a2} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{145500,20}{110843,85} = 1,31;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен ниже.

Таблица 3.6 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Повышение производительности труда пользователя	0,25	5	4	3
2. Удобство эксплуатации	0,2	5	4	3
3. Экономичность	0,05	5	2	3
4. Надежность	0,2	5	4	3

Продолжение таблицы 3.6 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

5. Закрытость получаемых данных	0,15	5	5	5
6. Потребность в материальных ресурсах	0,15	5	1	4
ИТОГО	1	5	3,6	3,45

В результате использования данной методики расчета, пользователь сможет быстро производить расчет нужных концентраций топлива, для определения изотопного состава в определенный день работы.

Расчетная модель имеет всего четыре области для задания начальных концентраций материалов, а также графическое отображение заданных параметров.

Программа, в которой разработана расчетная модель, создана в начале 1990 года, и не требует современных производительных компьютеров.

Полученные теоретические данные совпадают с экспериментальными.

Программа WIMSD5B находится в открытом доступе, однако расчетная модель имеется только у пользователя.

Для работы в программе не требуется дополнительных материальных ресурсов.

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,15 = 3,6;$$

$$\text{Аналог 2} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 = 3,45.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финаi}}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}};$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{5}{1} = 5; I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{3,6}{1,45} = 2,48; I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{3,45}{1,31} = 2,63.$$

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

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}}$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 3.6.1.

Таблица 3.6.1 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,45	1,31	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,6	3,45	5
3	Интегральный показатель эффективности	2,48	2,63	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,11	2	1

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.