

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор с ториевым топливом

УДК 621.039.534.3:621.039.543

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7В	Бортулев Никита Евгеньевич		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.О.	д-р экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования ; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать

	основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ 27.02.2021 Бычков П.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0A7B	Бортулеву Никите Евгеньевичу

Тема работы:

Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор с ториевым топливом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	09.02.2021 40-7/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	– Топливо – микротвэлы из делящегося материала $(Th+Pu)O_2$ с покрытием, диспергированным в графитовую матрицу цилиндрических топливных стержней – Материал покрытий и оболочек твэл SiC – Температура материалов элементарной ячейки 1300K
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	– Оценка влияния материального состава на размножающие свойства среды, длительность кампании, коэффициент воспроизводства урана, и глубину выгорания – Из перечня полученных данных выбрать наиболее оптимальный вариант
Перечень графического материала	Презентация Сборочный чертеж Спецификация

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.О
Социальная ответственность	Передерин Ю.В.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:	
1 Обзор литературы	
2 Оценка влияния материального состава на параметры активной зоны	
3 Финансовый менеджмент	
4 Социальная ответственность	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	27.04.2021

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Чертков Ю.Б..	к.ф-м.н.		27.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7В	Боргулев Н.Е.		27.04.2021

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А7В	Бортулеву Никите Евгеньевичу

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>30% премии; 20% надбавки; 16% накладные расходы; 30% районный коэффициент.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Потенциальные потребители результатов исследования. 2. Анализ конкурентных технических решений. 3. SWOT – анализ.
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	1. Морфологическая матрица альтернативных вариантов исполнения
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	1. Разработка структуры работы в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Бюджет научно – технического исследования.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	1. Определение показателей ресурсоэффективности разработки
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения НИИ 4. Определение бюджета НИИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		27.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7В	Бортулеву Никита Евгеньевич		27.04.2021

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А7В	Бортулеву Никите Евгеньевичу

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

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, 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 производственной 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	27.04.2021
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю.В.	к.т.н		27.04.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А7В	Бортулев Никита Евгеньевич		27.04.2021

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
Уровень образования высшее
Период выполнения (весенний семестр 2020/2021 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.04.2021	<i>Выдача задания</i>	
10.05.2021	<i>Обзор литературы</i>	
20.05.2021	<i>Моделирование элементарной ячейки</i>	
31.05.2021	<i>Оценка влияния материального состава на параметры активной зоны</i>	
18.06.2021	<i>Сдача работы</i>	

СОСТАВИЛ:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерные физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 82 страницы, 15 рисунков, 33 таблицы, 2 приложения, 1 чертеж, 1 спецификацию.

Ключевые слова: ядерный реактора, торий, WIMS D5B, ВГТР

Объект исследования: высокотемпературный газоохлаждаемый ториевый реактор использующий гелий в качестве теплоносителя, графит, в качестве замедлителя, и смесь диоксидов (Th+Pu)O₂, в качестве топлива.

Цель работы – создать модель высокотемпературного газоохлаждаемого ториевого реактора (ВГТР) и провести оценочный расчет коэффициента размножения, длительности кампании, коэффициента воспроизводства урана и глубины выгорания с различными вариантами размеров, концентраций материалов, и компоновкой стержней в элементарной ячейке реактора, из перечня полученных результатов выбрать наиболее оптимальный вариант.

В процессе работы смоделированы элементарная ячейка реактора в программном обеспечении WIMS-D5B. Для созданной модели исследовано влияние материального состава на размножающие свойства среды и другие параметры активной зоны.

Область применения: ядерная энергетика

Обозначения и сокращения

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор

ЯР – ядерный реактор

АЗ – активная зона

КПД – коэффициент полезного действия

ВТГР – высокотемпературный газоохлаждаемый реактор

ВГТР – высокотемпературный газоохлаждаемый ториевый реактор

HTTR – high temperature test reactor (высокотемпературный тестовый реактор)

HTR – high temperature reactor (высокотемпературный реактор)

Содержание

Введение.....	14
1 Обзор литературы	16
1.1 Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы	16
1.2 Конструкционные элементы ВГТР	16
1.2.1 Ториевое топливо.....	16
1.2.2 Микротвэлы и топливные стержни.....	18
1.2.3 Теплоноситель	21
1.2.4 Замедлитель	22
1.2.5 Активная зона	22
2 Моделирование и оценка влияния материального состава элементарной ячейки на параметры активной зоны	25
2.1 Моделирование элементарной ячейки.....	25
2.2 Оценка влияния материального состава на параметры активной зоны	27
2.2.1 Влияние материального состава на размножающие свойства среды.....	27
2.2.2 Влияния материального состава на длительность кампании	29
2.2.3 Влияние материального состава на воспроизводство урана	33
2.2.4 Оптимизация параметров ячейки	39
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	44
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	44
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	44
3.1.3 SWOT-анализ.....	46
3.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	50

3.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	51
3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	51
3.3.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	52
3.3.2.1 Основная заработная плата исполнителей темы	53
3.3.2.2 Расчет дополнительной заработной платы.....	55
3.3.2.3 Расчет отчислений во внебюджетные фонды	56
3.3.2.4 Расчет накладных расходов	56
3.3.2.6 Амортизационные отчисления	57
3.3.2.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	58
3.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	59
4 Социальная ответственность	63
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	64
4.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	64
4.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны	65
4.4 Превышение уровня шума	66
4.5 Отклонение показателей микроклимата	67
4.6 Психофизиологические факторы.....	68
4.7 Электробезопасность	69
4.8 Пожарная и взрывная безопасность	70
4.9 Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии.....	72
4.10 Выводы по разделу.....	74
Заключение	75

Список использованных источников	76
Приложение А	79
Приложение Б	82

Введение

На сегодняшний день в России большую долю реакторов, использующихся для производства энергии, занимают легководные реакторы типа ВВЭР, которые имеют определенные недостатки, такие как низкая эффективность использования урана, а также образование большого количества второстепенных актинидов (Am, Cm, Cf) в уран-плутониевом цикле, которые подлежат переработке/захоронению. В свою очередь торий, хоть и образующий в процессе облучения высокоактивные изотопы (U-232, Th-228), содержит гораздо меньше тяжелых долгоживущих актиноидов в процессе переработки. [1]

Большая распространенность тория в природе, а также его теплофизические свойства открывают перспективы для его использования в ядерной энергетике. В нескольких странах уже были построены и протестированы реакторы на ториевом топливе, многообещающей была реакторная установка THTR (thorium high temperature reactor), построенная на территории Германии, тем не менее по экономическим соображениям, а также из-за политики страны в ядерной сфере, исследование пришлось свернуть. [2]

Актуальность подобных исследований также поддерживается за счет развития в последнее время закрытого ядерного топливного цикла, который можно реализовать за счет тория. Кроме этого, использование высокотемпературной газоохлаждаемой установки позволит реализовать прямой газотурбинный цикл, который по сравнению с другими циклами, используемыми на АЭС обладает большим КПД (около 50%). Также для ВТГР характерно его использование не только для производства электричества. Использование высокой температуры дает возможность производить на такой установке водород [3], а также снабжать другие неядерные объекты теплом. [4,5] Таким образом, мультизадачность ВТГР, а также потенциально перспективный в ядерной энергетике торий, могут внести весомый вклад в будущее ядерной энергетике.

Прежде чем ториевые реакторы будут производиться в промышленных масштабах, требуется провести не мало детальных исследований и расчетов различных вариаций активных зон реакторов на ториевом топливе. Одна из проблем реакторов, с топливом на основе тория – это подбор соответствующего материального состава, при котором будет реализовываться цепная реакция деления за счет воспроизводящегося U-233. Данная работа будет посвящена подобному исследованию, в котором будет создана модель с помощью программного обеспечения, а также проведен оценочный расчет, основанный на данных о существующих прототипах высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов с использованием тория в качестве топлива.

Таким образом, цель работы – создать модель высокотемпературного газоохлаждаемого ториевого реактора (ВГТР) и провести оценочный расчет коэффициента размножения, длительности кампании, коэффициента воспроизводства урана и глубины выгорания с различными вариантами размеров, концентраций материалов, и компоновкой стержней в элементарной ячейке реактора, из перечня полученных результатов выбрать наиболее оптимальный вариант

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- моделирование ячейки в программном обеспечении WIMS-D5B;
- оценка длительности кампании с различными вариантами материального состава АЗ
- оценка влияния материального состава на глубину выгорания и длительность кампании
- выбор оптимального варианта материального состава АЗ с точки зрения длительности кампании и глубины выгорания.

1 Обзор литературы

1.1 Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы

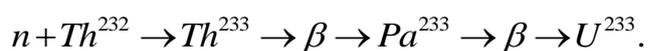
Первые практические шаги по разработке ВТГР были проделаны в 60-ых годах. Первые два экспериментальных реактора «Драгон» (Великобритания) и Reach Bottom (США) показали хорошие результаты, опыт их эксплуатации уже затем использовали другие страны при проектировании таких реакторов как AVR (Германия), HTTR (Япония) и HTR-10 (Китай). В качестве основной идеи при конструировании таких реакторов легла концепция микрокапсульного топлива (микротвэлов), которые обеспечивают удержание газообразных продуктов деления, что положительно сказывается на обеспечении безопасности установки. [5]

На данный момент известно несколько вариантов исполнения АЗ, блочный тип АЗ, а также АЗ заполненная шарообразными твэлами, равномерно циркулирующими по объему. В данной работе внимание будет уделено блочному типу АЗ. В блочной структуре АЗ ячейка представлена в виде шестиугольного блока с отверстиями под топливные стержни и теплоноситель. Подобной структурой обладают реакторы прототипы которых были созданы на базе Японских институтов – HTR-10 и GTHTTR-30. [5,6] Похожие исследования также проводились в России на базе ТПУ, но с своеобразной структурой элементарной ячейки.[1,7] На основании данных работ была создана модель, которая далее будет представлена в работе, материальный состав активной зоны которой будет рассмотрен далее.

1.2 Конструкционные элементы ВТГР

1.2.1 Ториевое топливо

Основой такого реактора будет служить ^{232}Th изотоп тория. В реакторе изотоп Th-232 превращается в расщепляющийся искусственный изотоп урана U-233 , который является ядерным топливом.



В отличие от природного урана, природный торий содержит только следовые количества расщепляющегося материала (например, Th-231), которые недостаточны для инициации цепной ядерной реакции. Для инициализации топливного цикла в этих условиях требуются дополнительные расщепляющиеся материалы или дополнительный источник нейтронов. В качестве дополнительного источника нейтронов будет использоваться Pu-239. Среди всех делящихся нуклидов плутоний обладает самым большим сечением деления. [8]

U-233 образующийся в ходе захвата нейтронов торием имеет чуть большее сечение деления чем U-235, к тому же сравнивая U-233 и другие делящиеся нуклиды, он обладает самым низким сечением захвата (σ_{γ}), что в целом делает его самым эффективно делящимся нуклидом. Наконец, соотношение количества испущенных нейтронов на один поглощённый нейтрон (η) превышает 2 в широком диапазоне энергий. [1,5-8]

Ториевое топливо также имеет благоприятные физические и химические свойства, которые улучшают функционирование реактора и хранилища отходов. По сравнению с преобладающим реакторным топливом, диоксидом урана (UO₂), ториевый диоксид (ThO₂) имеет более высокую температуру плавления, более высокую теплопроводность и низкий коэффициент теплового расширения. Двоокись тория также проявляет большую химическую стабильность и, в отличие от диоксида урана, дальше не окисляется.

Из-за того, что U-233, получаемый в ториевом цикле, значительно загрязнён изотопом U-232, отработанное ядерное топливо реакторов предлагаемой конструкции мало пригодно для получения оружейного урана, что способствует режиму нераспространения ядерного оружия. U-233 невозможно химически выделить из смеси с U-232. Кроме того, он имеет несколько продуктов распада, которые излучают высокоэнергетическое гамма-излучение.

Долгосрочная (на время порядка 10³-10⁶ лет) радиационная опасность обычного отработанного уранового топлива вызывается в основном плутонием

и младшими актинидами и во вторую очередь долгоживущими продуктами распада. Одного захвата нейтрона изотопом U-238 достаточно для получения трансурановых элементов, в то время как для Th-232 для этого необходим захват пяти нейтронов. 98-99 % ядер ториевого топливного цикла превращается в U-233 или U-235, остальные долгоживущие трансураны производятся в незначительных количествах. Поэтому торий является потенциально привлекательной альтернативой урана в смешанном уран-плутониевом топливе для сведения к минимуму образования трансурановых элементов и максимального уничтожения плутония.

Не смотря на очевидные преимущества торий также обладает рядом недостатков, один из них – сравнительно длительный интервал, в течение которого Th-232 превращается в U-233. Период полураспада Pa-233 — около 27 дней, что на порядок больше, чем у Np-239. Как следствие, существующий Pa-233 превращается в ториевое топливо. Pa-233 хороший поглотитель нейтронов и хотя он в конечном итоге порождает расщепляющийся изотоп U-235, это требует поглощения двух нейтронов, что ухудшает баланс нейтронов и повышает вероятность появления трансуранов.

Кроме того, если твердый торий используется в замкнутом топливном цикле, в котором возвращается в цикл U-233, при изготовлении топлива требуется дистанционное управление из-за высокого уровня радиации продуктов распада U-233. Это также верно и для вторичного тория из-за наличия Th-228, который является частью цепочки распада U-232. [8]

1.2.2 Микротвэлы и топливные стержни

Микро–топливо представляет собой керн из делящегося материала с покрытием, диспергированный в графитовую матрицу цилиндрических топливных стержней, которые размещаются в активную зону реактора. Топливный стержень и топливный керн представлены на рисунке 1.1.

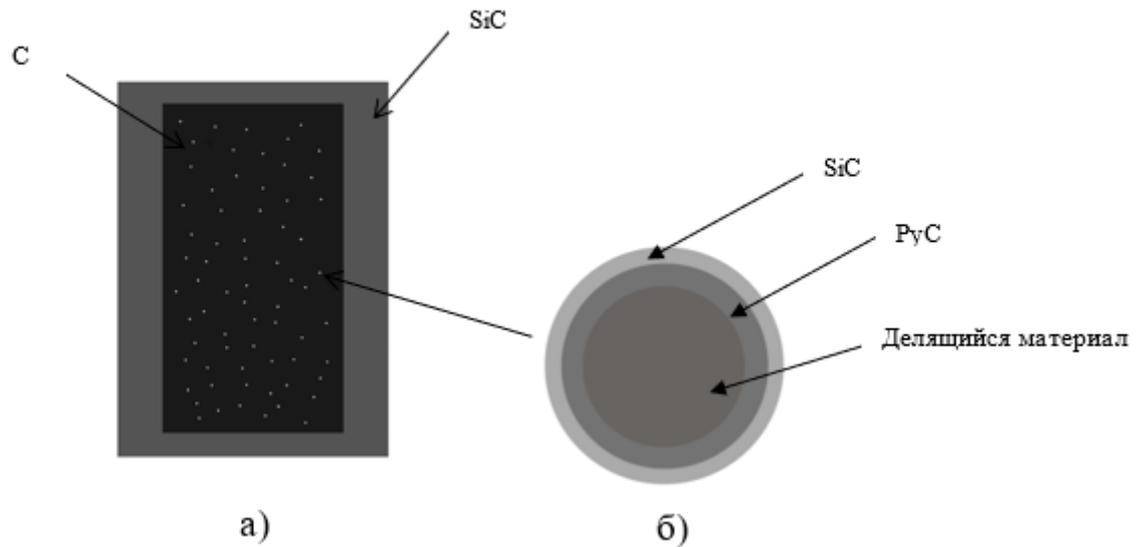


Рисунок 1.1 – а) топливный стержень б) топливный керн.

Делящийся материал – $(Pu-Th)O_2$, где плутоний и торий взяты в разных пропорциях. Ядро из делящегося материала покрывается слоем пиролитического углерода, который в свою очередь делится на два слоя из более и менее плотного углерода. Первый свой PyC за счет малой плотности предоставляет объем для газообразных продуктов деления, а также служит барьером для защиты следующего слоя от тяжелых осколков деления. Более плотный слой служит для удержания тяжелых продуктов деления, а также для защиты делящегося материала от химического воздействия с оболочкой. Последний слой, выполненный из карбида кремния, служит для удержания газообразных продуктов деления. Выбор оболочки обусловлен прежде всего достаточно высокой температурой плавления (около 3000 К), к тому же материал оболочки почти не поглощает нейтроны на всем диапазоне энергий, что положительно сказывается на нейтронном балансе. [9,10]

Структура керна может меняться в зависимости от модификации реактора, и может подбираться индивидуально для определенного материального состава активной зоны.

Материал слоев, микро-ТВЭЛ, а также назначение каждого отдельного слоя представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Назначение слоев топлива

Состав	Размеры (мкм)	Назначения
UO ₂ ядро (kernel)	600 ± 12 550	<ul style="list-style-type: none"> – вызывает реакцию деления; – удерживает продукты деления; – подслои осаждения буфера PuC.
Слой буфера PuC	130	<ul style="list-style-type: none"> – предоставлять свободный объем для газообразных продуктов деления; – поглощать распухание топливного ядра в процессе деления; – защищать внутри слой покрытия PuC от разрушений осколков деления.
Внутренний слой плотно–изотропного PuC	30 ± 6	<ul style="list-style-type: none"> – защита слоя SiC от вредных реакций с топливом и редкоземельными продуктами реакции; – предотвращать реакции между UO₂ и хлоросодержащими материалами, полученными в процессе осаждения SiC; – подавлять давление CO, CO₂ и газовых продуктов реакции;
Слой SiC	25 +25/–0	<ul style="list-style-type: none"> – роль корпуса под высоким давлением для CO, CO₂ и газовых продуктов реакции; – барьер по удержанию выхода газовых и твердых продуктов деления.
Внешний слой плотно–изотропного PuC	45 ± 6	<ul style="list-style-type: none"> – защита слоя SiC от механических повреждений во время топливной эксплуатации; – доп барьер по удержанию газов деления в случае нарушения слоя SiC.

Топливный стержень представляет двуслойный цилиндр и графитовой матрицы (спеченный графит) и оболочки, выполненной из карбида кремния. Выбор графита в качестве матрицы обусловлен прежде всего высокой температурой плавления, хорошей теплопроводностью и почти отсутствующим поглощением. По аналогии с топливным керном, оболочка топливного стержня выполнена из карбида кремния, для удержания газообразных продуктов деления. [9,10]

1.2.3 Теплоноситель

Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы традиционно используют гелий в качестве теплоносителя. Такой выбор обусловлен инертностью гелий, по сравнению с другими типами газообразных теплоносителей гелий почти не реагирует с материалами активной зоны. Единственная возможная реакция гелия с нейтроном – рассеяния. Есть вероятность образования короткоживущего изотопа гелия-5, которое сопровождается распадом на гелий-4 и нейтрон, что, в принципе эквивалентно упругому рассеянию, но процесс маловероятен поэтому при расчетах его не учитывают. При температуре до 800°C и давлении 6 МПа гелий не диффундирует через стали (1X18H10T, 12X1МФ и другие). [5]

В качестве альтернативы может использоваться углекислый газ или водород. Углекислый газ, который нашел применение в реакторах типа MAGNOX обладает большей по сравнению с гелием теплопроводностью, но из-за специфических особенностей углекислоты, приводящих к реакции с графитом и массопереносу графита в контуре гелий, будет более оптимальным вариантом. К тому же, в процессе облучения диоксид углерода активируется и в случае утечки теплоносителя возникнет выброс ядерных материалов в окружающую среду. [5]

Водород превосходит все остальные теплоносители по теплофизическим свойствам, но при реакции с кислородом в том числе и с воздухом выделяется гремучий газ, поэтому в случае утечки высокотемпературного водорода из контура охлаждения есть вероятность возникновения аварии со взрывом. [4,5]

Помимо очевидных преимуществ гелия есть ряд недостатков. Во-первых, низкая, что в общем то характерно для всех газовых теплоносителей, теплоемкость, что сказывается на общей эффективности станции с высокотемпературным реактором. Кроме того, в случае разгерметизации

трубопровода с теплоносителем, единственным возможной заменой окажется обычный воздух, в отличие от воды, которую можно взять из ближайшего водоёма, что характерно для легководных реакторов. [4,5,11]

1.2.4 Замедлитель

Графит имеет очень низкое сечение поглощения нейтронов, химически довольно инертен, термостоек, обладает высокой теплопроводностью. Данные свойства позволяют использовать его с высокотемпературными газообразными теплоносителями. При использовании графита в АЗ увеличивается коэффициент воспроизводства, что благоприятно сказывается на генерации U-233. [5,12,13]

С другой стороны, реакторы с графитовым замедлителем обладают определенными недостатками:

- относительно малая замедляющая способность и большая длина замедления приводит к большим размерам и соответственно низкой плотности теплосъема активной зоны;
- длительные радиационные воздействия приводят не только к изменению физико-механических свойств и размеров графита, но и сопровождаются значительным накоплением внутренней энергии;
- пористость графита приводит к тому, что теплоноситель проникает в него, что вызывает изменение реактивности;
- образование дополнительных отходов при снятии реактора с эксплуатации. [5,12,13]

1.2.5 Активная зона

Конструкция активной зоны ВТГР определяется применяемым типом ТВЭЛОВ.

Активная зона, набираемая из призматических графитовых тепловыделяющих сборок (ТВС), представляет собой гомогенную структуру с равномерно чередующимися топливными стержнями и каналами для гелия. [1,12] Шестигранный графитовый блок представлен на рисунке 1.2.

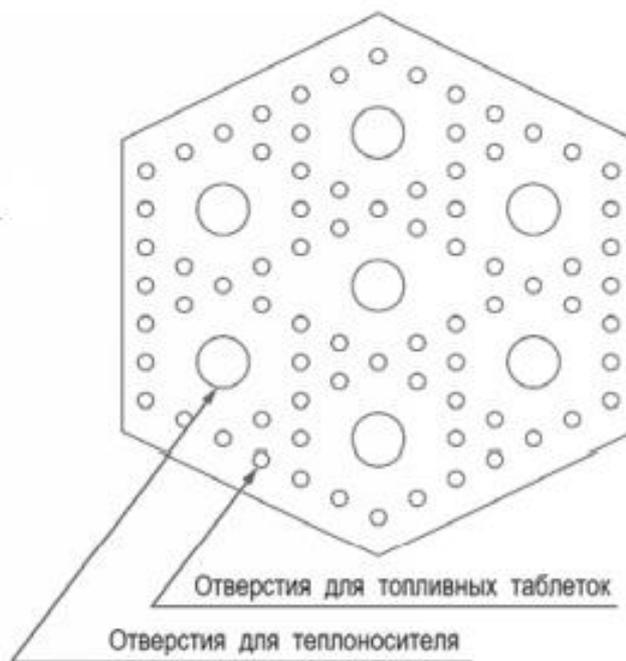


Рисунок 1.2. – Шестигранный графитовый блок

Призматические шестигранные блоки расположены в несколько рядов по высоте активной зоны. Радиальные и торцевые отражатели выполнены из аналогичных призматических блоков активной зоны, но без делящегося материала.

Для перегрузки ТВС необходимы специальные перегрузочные машины, располагаемые в зале над реактором. Перегрузка осуществляется на остановленном реакторе, что снижает коэффициент использования установленной мощности и в конечном счете приводит к повышению стоимости отпускаемой энергии. Преимущества такого типа зоны – возможность простого гидравлического профилирования расхода теплоносителя в соответствии с полем энерговыделения в активной зоне, использование традиционных стержней СУЗ, погружаемых в каналы графитовых призматических блоков. Наличие

перегрузочной машины позволяет заменять призматические блоки не только в активной зоне, но и в радиальных и торцевых отражателях при выработке ими срока службы. Другая концепция ВТГР, которая также получила распространение, состоит в применении твэлов шарового типа. Примером такого реактора является AVR. В этом случае активная зона представляет собой свободную засыпку из твэлов в полый цилиндр, выполненный из графитовых блоков, служащих отражателем. В данной работе внимание будет уделено первому варианту компоновки активной зоны.

2 Моделирование и оценка влияния материального состава элементарной ячейки на параметры активной зоны

2.1 Моделирование элементарной ячейки

Моделирование и оценочный расчет был произведен с помощью программного обеспечения WIMS-D5B. В отличие от более продвинутых аналогов, программа производит расчет в плоской геометрии, а многогранные фигуры переводятся в эквивалентные окружности. При таких расчетах, очевидно возникает погрешность, которая так и или иначе вносит весомый вклад, особенно при расчетах коэффициента размножения, точность которого является важной и отклонение не должно превышать тысячной процента. Тем не менее, по сравнению с аналогами, WIMS обладает более легким и интуитивно понятным синтаксисом и позволяет исследовать зависимость коэффициента размножения от материального состава и размеров активной зоны. [14]

При моделировании были приняты следующие допущения:

- все многоугольники заменяются эквивалентными по площади окружностями;
- гетерогенная топливная таблетка заменяется эквивалентной гомогенной.

Последнее вносит наибольший вклад в погрешность, так как материалы имеющие резонансы при определенных значениях энергий нейтронов будут не вполне корректно учитываться при оценке баланса нейтронов в ячейке, погрешность такого измерения может составлять около 7-8%.

Гетерогенность замедлителя теплоносителя и оболочки была учтена, поэтому влияние на погрешность данных составляющих была минимальной.

Элементарная ячейка реактора представлена в виде шестиугольного графитового блока, в котором расположены 78 отверстий под топливные стержни, и 7 отверстий для прохода теплоносителя. Предполагается, что топливо выполнено в виде микро-ТВЭЛОВ из смеси диоксидов плутония и тория,

концентрации которых будут меняться в ходе исследования. Микро-твэлы диспергированы в графитовую матрицу. Для удобства расчета графитовая матрица и микро-твэлы гомогенизированы. [15]

С учетом всех допущений при помощи программы была построена модель элементарной ячейки. Шестиугольный графитовый блок заменен эквивалентной по площади окружностью, расположение твэлов и каналов выполнено в исходном виде. Визуальное представление ячейки в программе WIMS представлено на рисунке 2.1.

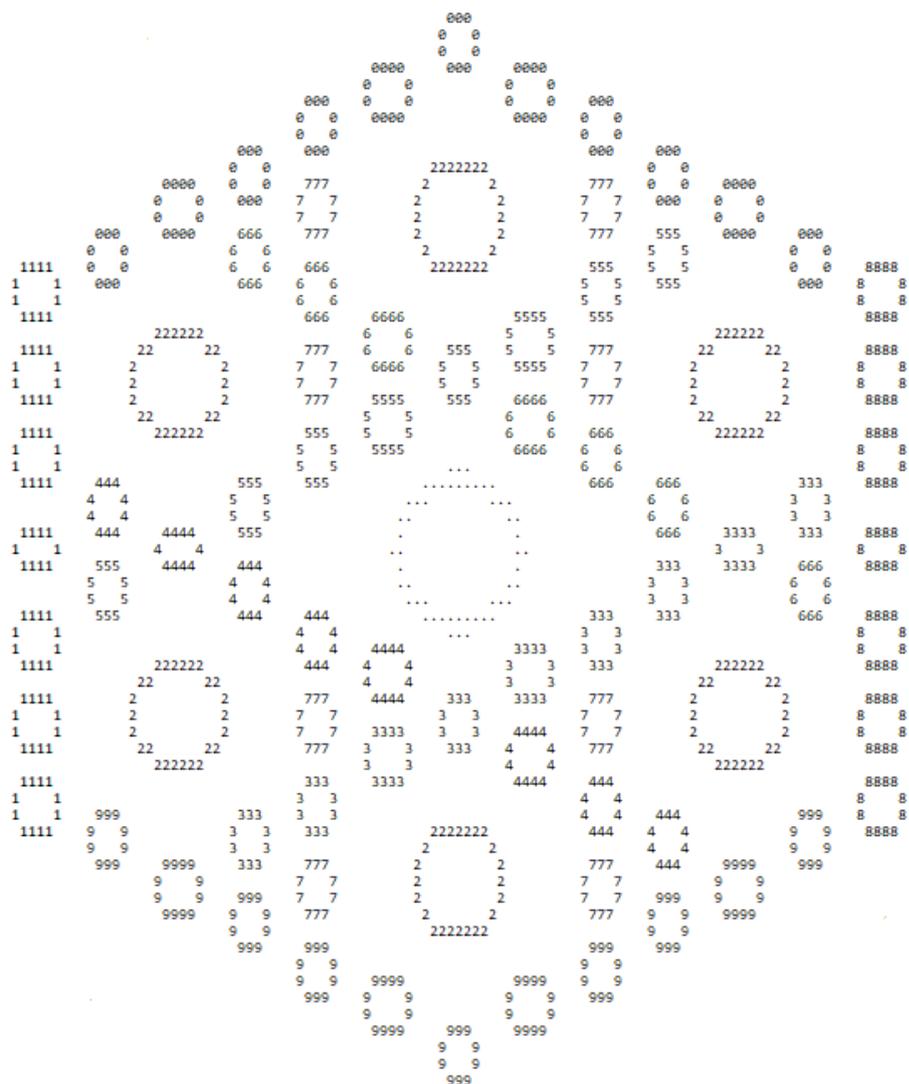


Рисунок 2.1 – Визуальное представление ячейки в программе WIMSD5B.

В следующем разделе при помощи программы соответственно уже будет проведена оценка влияния материального состава на параметры активной зоны.

2.2 Оценка влияния материального состава на параметры активной зоны

2.2.1 Влияние материального состава на размножающие свойства среды

На данном этапе необходимо было определить как влияет соотношение матрицы и топлива, а также соотношения тория и плутония на коэффициент размножения нейтронов.

При одинаковом соотношении матрицы и топлива изменялись соотношения тория и плутония результаты представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений зависимости коэффициента размножения от массовой доли плутония в смеси тория и плутония

Коэффициент размножения нейтронов	Массовая доля плутония, %
1,28	10
1,25	25
1,21	50

Эксперимент проводился не для чистого Pu-239, а для смеси изотопов, в которой присутствовали изотопы плутония 241 и плутония 240, которые обладают большими сечениями поглощения в резонансной области. Вероятнее всего, в результате того, что увеличилась их концентрация соответственно уменьшился и коэффициент размножения.

Аналогично был проведен эксперимент с большим обогащением по Pu-239. Результаты представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты измерений зависимости коэффициента размножения от массовой доли плутония в смеси тория и плутония

Коэффициент размножения нейтронов	Массовая доля плутония, %
1,473	10
1,493	25
1,479	50

Изначально коэффициент размножения нейтронов возрастал, затем уменьшился. Логично будет предположить, что максимум коэффициента размножения при определенном соотношении матрицы и топлива для плутония разного изотопного состава будет разным.

На следующем этапе для плутония, обогащенного до 90% в соотношение с торием 50 на 50, изменялись соотношения матрицы и топлива. Результаты измерения коэффициента размножения представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты измерений зависимости коэффициента размножения от массовой доли топлива в матрице

Коэффициент размножения нейтронов	Массовая доля топлива, %
1,479	1
1,41	2
1,385	3
1,376	4
1,379	6
1,398	8

По данным из таблицы 2.3 был построен график зависимости коэффициента размножения нейтронов от массовой доли топлива.

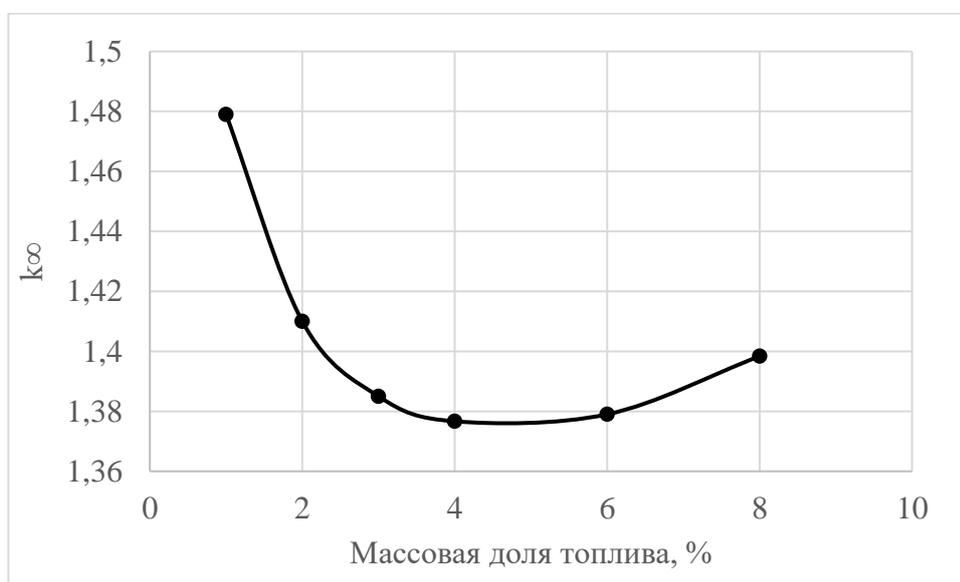


Рисунок 2.2 – Зависимость коэффициента размножения нейтронов от массовой доли топлива в матрице

Как видно из рисунка k_{∞} изначально падает, затем вновь начинает расти. При малых содержаниях топлива в матрице, изотопы плутония, а также торий

незначительно оказывают влияния на нейтронный баланс, основную роль играет Pu-239, который и определяет коэффициент размножения нейтронов. При увеличении массовой доли коэффициент размножения падает, до тех пор, пока делящегося плутония не станет достаточно, чтобы уравновесить увеличившееся поглощения на ядрах изотопов плутония и тория.

2.2.2 Влияния материального состава на длительность кампании

Для следующего эксперимента были выбраны несколько вариантов композиций стержней с разными соотношениям плутония и тория, топлива и матрицы, и различных изотопных составов плутония. Два основных изотопных состава плутония представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Варианты изотопного состава плутония

Вариант изотопного состава	238Pu, %	239Pu, %	240Pu, %	241Pu, %	242Pu, %
1	2	55	25	15	3
2	0	95	3	2	0

Первый вариант – плутоний получаем непосредственно с реактора, содержащий в значимом количестве примесные изотопы Pu-240 и Pu-241, которые служат в качестве выгорающих поглотителей. Их содержание допустимо в виду того, что оба изотопа достаточно хорошо делятся промежуточными нейтронами.

Второй вариант – оружейный плутоний, обогащенный до 95 % по 239 изотопу.

Аналогично составу плутония будут также рассмотрены несколько вариантов соотношения плутония и тория. Возможные варианты состава представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Варианты соотношений плутония и тория

Вариант изотопного состава	Объемная доля Pu, %	Объемная доля Th, %	Условное обозначение
1	10	90	x
2	25	75	y
3	50	50	z

Варианты соотношений топлива и матрицы представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Варианты соотношений топлива и матрицы

Вариант изотопного состава	Объемная доля топлива, %	Объемная доля графита, %	Объемная доля SiC, %	Условное обозначение
1	1	81	18	81
2	2	79	20	79
3	2	83	15	83

На основе представленных вариантов изотопных составов будут собраны соответственно топливные стержни, состоящие из различных комбинаций материалов, представленных выше. Так, например, топливный стержень с именем 81x1 – это стержень с объемной долей топлива равной 1%, содержанием плутония в топливе 10%, и изотопным составом плутония под номером 1. Всего таких комбинаций стержней представлено 18. Далее будет рассмотрено влияния изотопного состава на длительность кампании для каждого стержня.

Для расчета были приняты следующие параметры, представленные в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Параметры, принятые для расчета в программе

Параметр	Значение
Количество ТВС	91
Количество твэлов в ячейке	78
Высота АЗ	2400 мм
Ширина АЗ	2600 мм
Диаметр твэла	8 мм
Температура материалов	1300 К
Мощность	10 МВт

Для расчета выгорания были заданы геометрический параметр В, для учета утечки, а также удельная мощность ячейки. На основе данных, представленных выше для каждого типа стержня, было рассчитано, как изменяется запас реактивности с течением времени, результаты представлено на рисунке 2.3.

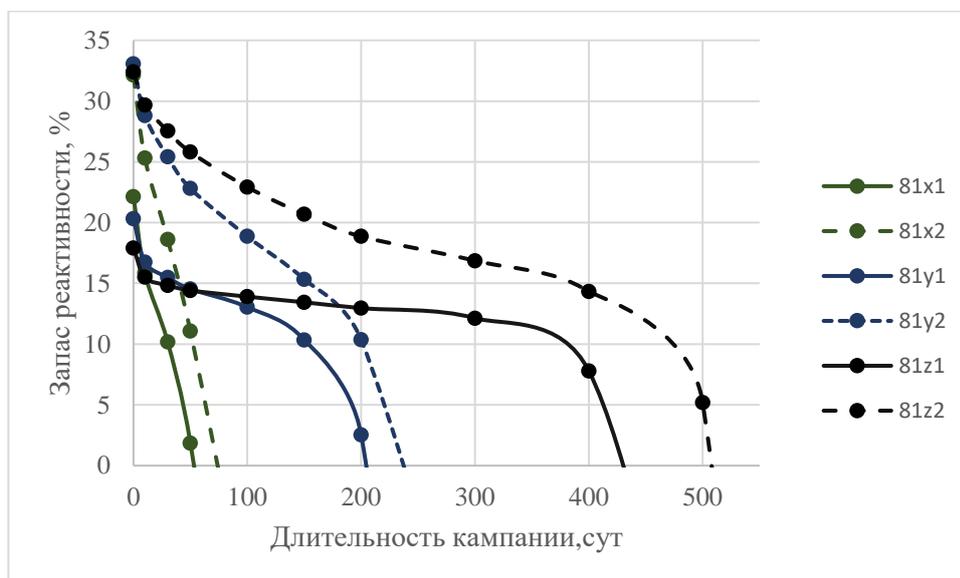


Рисунок 2.3 – Зависимость длительности кампании от типа стержня (первый вариант соотношения топлива и матрицы)

Наибольшая продолжительность кампании у стержня 81z2. Для стержней x и y кампания краткосрочная в виду того, что уран не успевает наработаться в достаточном количестве, чтобы поддерживать цепную реакцию деления, поэтому после того как весь плутоний выгорает, реактор становится подкритическим, в случае с стержнями типа z, кампания длится дольше всего, уран успевает наработаться в достаточном количестве, эффект «удлинения» кампании за счет конверсии тория в U-233 можно проследить на рисунке 2.3.

Для стержней со вторым вариантом соотношения топлива и матрицы сравнение длительностей кампании представлено на рисунке 2.4.

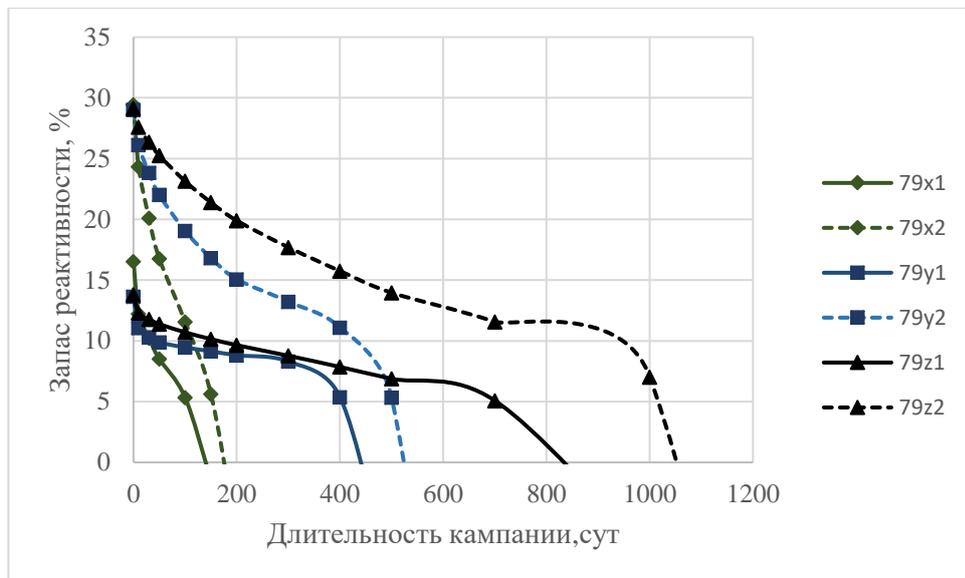


Рисунок 2.4 – Зависимость длительности кампании от типа стержня (второй вариант соотношения топлива и матрицы)

Для стержней с третьим вариантом соотношения топлива и матрицы сравнение длительностей кампании представлено на рисунке 2.5.

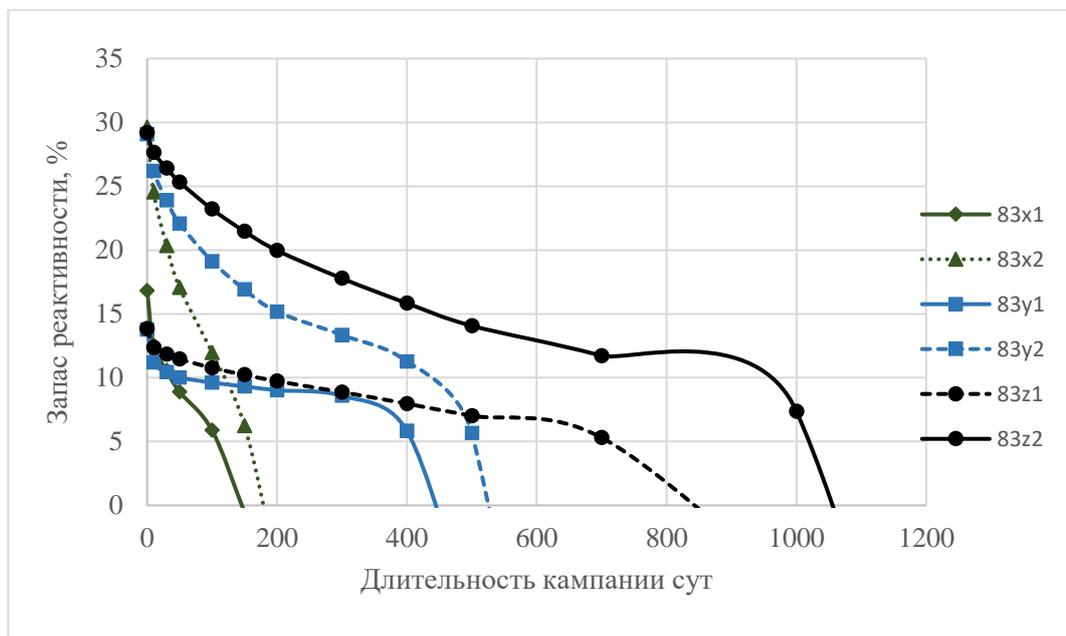


Рисунок 2.5 – Зависимость длительности кампании от типа стержня (третий вариант соотношения топлива и матрицы)

По аналогии с первым вариантом соотношения топлива для второго и третьего картина повторяется. В вариантах компоновки, где соотношения плутония и тория 1:1, кампания наиболее продолжительная. Что касается влияния изотопного состава плутония на продолжительность, для оружейного

плутония запас реактивности примерно в два раза больше, чем для первого варианта изотопного состава плутония. Разница в длительности кампании, допустим, для стержней 83z1 и 83z2 составляет примерно 200 дней. Для стержней 81z1 и 81z2 разница в длительности кампаний составляет примерно 80 дней. Для стержней 81z1 и 83z1 на промежутке от 50 до 300 суток и 50 до 600 суток темпы потери реактивности соответственно $9 \cdot 10^{-3} \% / \text{сут}$ и $10^{-2} \% / \text{сут}$. Для стержней 81z2 и 83z2 на тех же участках темпы потери реактивности $2,6 \cdot 10^{-2} \% / \text{сут}$ и $2,1 \cdot 10^{-2} \% / \text{сут}$. Таким образом, для первого изотопного состава характерен малый темп потери реактивности и меньший запас реактивности, что обусловлено содержанием изотопов Pu-240 и Pu-241, которые в процессе производства сначала накапливаются затем спустя время, когда концентрация Pu-239 уменьшится до достаточно малого значения (для различных изотопных составов значение будет разным) скорость образования этих ядер становится меньше, чем скорость их деления, за счет этого их концентрация начинает уменьшаться, следовательно высвобождается реактивность.

2.2.3 Влияние материального состава на воспроизводство урана

В ходе эксперимента также было рассчитано как изменяются концентрации U-233, Pu-239 и Pu-241 для стержней 83z2 и 83z1, а также стержней 81z2 и 81z1. По данным расчетов были уже соответственно определены коэффициенты воспроизводства урана для каждого типа стержней и глубина выгорания. В первую очередь для оценки влияния изотопного состава плутония были рассчитаны концентрации для стержней 83z2 и 83z1. Результаты расчетов представлены в таблицах 2.8 и 2.9.

Таблица 2.8 – Результаты расчета концентраций для стержня 83z1

t, сут	N(Pu ²³⁹), см ⁻³	N(Pu ²⁴¹), см ⁻³	N(U ²³³), см ⁻³
0	1,43E-04	2,96E-05	2,43E-19
10	1,40E-04	3,06E-05	3,43E-08
30	1,34E-04	3,25E-05	2,62E-07
50	1,28E-04	3,42E-05	6,22E-07
100	1,13E-04	3,81E-05	1,76E-06
150	9,98E-05	4,13E-05	2,96E-06
200	8,71E-05	4,37E-05	4,10E-06
300	6,51E-05	4,65E-05	6,13E-06
400	4,63E-05	4,67E-05	7,81E-06
500	3,07E-05	4,41E-05	9,14E-06
700	1,10E-05	3,29E-05	1,09E-05

Таблица 2.9 – Результаты расчета концентраций для стержня 83z2

t, сут	N(Pu ²³⁹), см ⁻³	N(Pu ²⁴¹), см ⁻³	N(U ²³³), см ⁻³
0	2,28E-04	1,21E-05	2,43E-19
10	2,24E-04	3,09E-06	2,76E-08
30	2,17E-04	4,47E-06	2,12E-07
50	2,09E-04	5,90E-06	5,07E-07
100	1,91E-04	9,66E-06	1,46E-06
150	1,73E-04	1,34E-05	2,49E-06
200	1,55E-04	1,70E-05	3,50E-06
300	1,24E-04	2,35E-05	5,36E-06
400	9,57E-05	2,84E-05	6,98E-06
500	7,04E-05	3,16E-05	8,34E-06
700	3,33E-05	3,19E-05	1,04E-05
1000	5,65E-06	1,86E-05	1,15E-05

По данным таблиц 2.8 и 2.9 были соответственно построены графики зависимостей концентраций от времени, представленные на рисунках 2.6 и 2.7.

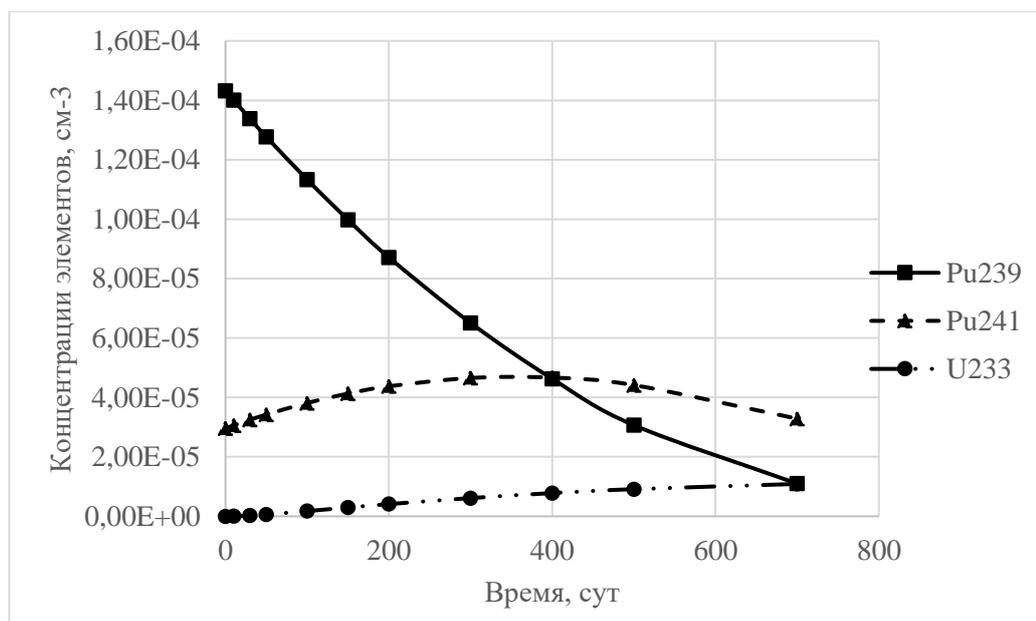


Рисунок 2.6 – Зависимость концентраций элементов от времени для активной зоны, состоящей из стержней 83z1

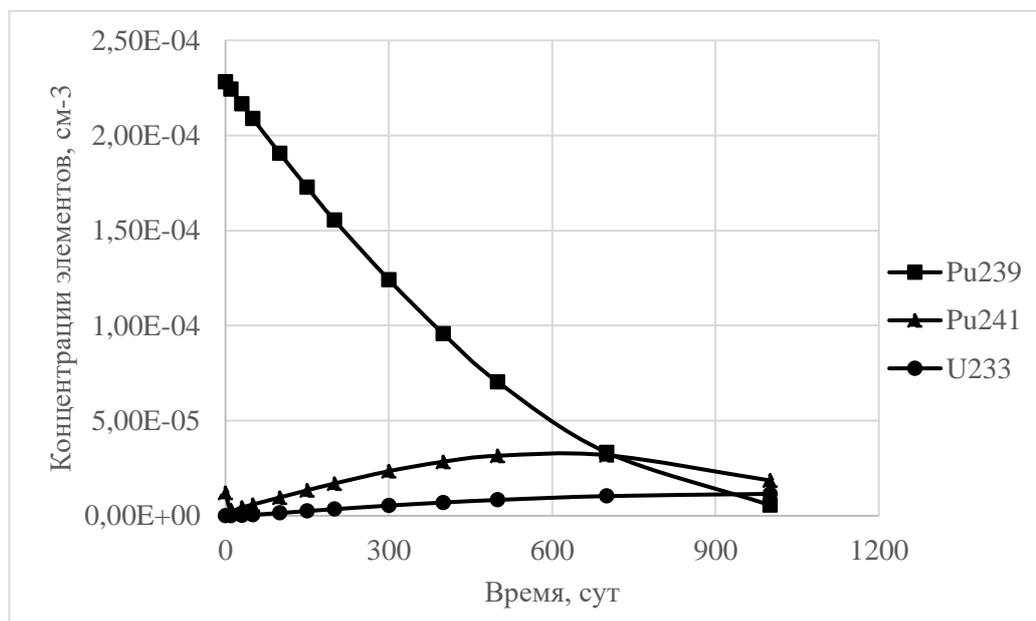


Рисунок 2.7 – Зависимость концентраций элементов от времени для активной зоны, состоящей из стержней 83z2

Форма кривых абсолютно одинаковая, однако на конец кампании концентрации U-233 примерно одинаковая, да и в целом в ходе кампании концентрация урана изменяется примерно одинаково с небольшим лишь отличием. Глубина выгорания плутония и в первом и во-втором случае примерно

равна 95-97%. Таким образом, увеличивая обогащение плутония, увеличивается длительность кампании реактора (для АЗ из стержней типа 83z2 кампания увеличивается на 200 дней), при этом уменьшается коэффициент воспроизводства U-233. Для АЗ из стержней 83z2 $KB(U^{233}) = 0,06$, для АЗ из стержней 83 $KB(U^{233}) = 0,09$.

Для стержней 81z1 и 81z2 аналогично было рассчитано, как изменяются концентрации в ходе кампании. Результаты соответственно представлены в таблицах 2.10 и 2.11.

Таблица 2.10 – Результаты расчета концентраций для стержня 81z1

t, сут	$N(Pu^{239}), \text{см}^{-3}$	$N(Pu^{241}), \text{см}^{-3}$	$N(U^{233}), \text{см}^{-3}$
0	7,16E-05	1,48E-05	1,21E-19
10	6,84E-05	1,57E-05	1,93E-08
30	6,22E-05	1,74E-05	1,48E-07
50	5,62E-05	1,90E-05	3,50E-07
100	4,30E-05	2,19E-05	9,79E-07
150	3,15E-05	2,35E-05	1,62E-06
200	2,17E-05	2,36E-05	2,20E-06
300	8,75E-06	2,02E-05	3,14E-06
400	2,11E-06	1,23E-05	3,64E-06

Таблица 2.11 – Результаты расчета концентраций для стержня 81z2

t, сут	$N(Pu^{239}), \text{см}^{-3}$	$N(Pu^{241}), \text{см}^{-3}$	$N(U^{233}), \text{см}^{-3}$
0	1,14E-04	1,21E-06	1,21E-19
10	1,10E-04	1,74E-06	1,57E-08
30	1,03E-04	2,95E-06	1,21E-07
50	9,52E-05	4,26E-06	2,90E-07
100	7,79E-05	7,76E-06	8,33E-07
150	6,18E-05	1,10E-05	1,41E-06
200	4,70E-05	1,36E-05	1,96E-06

300	2,42E-05	1,65E-05	2,91E-06
400	8,88E-06	1,46E-05	3,57E-06
500	1,48E-06	8,09E-06	3,77E-06

Как и в случае со стержнями 83z 1 и 2 аналогичная ситуация повторяется и для стержней 81 типа. Концентрация урана в ходе кампании для первого и второго типа изменяется одинаково, коэффициент воспроизводства для стержня с большим обогащением по урану меньше, по сравнению со стержнем с меньшим обогащением. Характер зависимостей для сравнения представлены на рисунках 2.8 и 2.9.

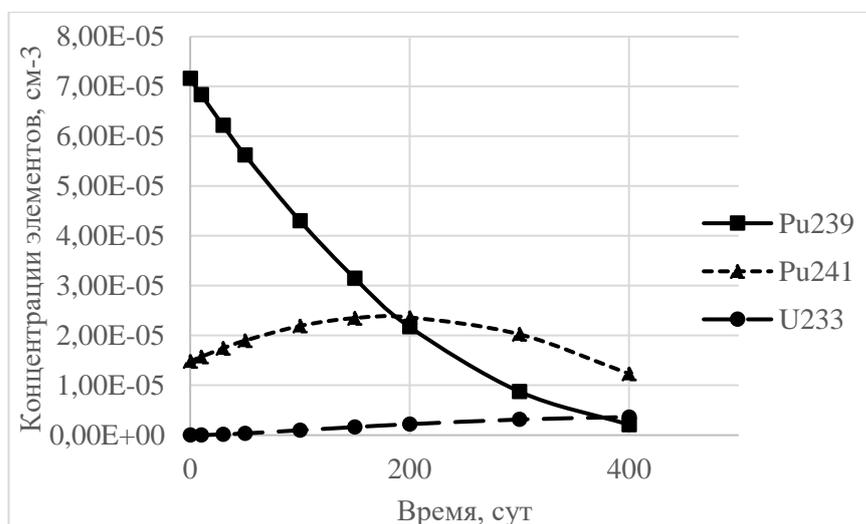


Рисунок 2.8 – Зависимость концентраций элементов от времени для активной зоны, состоящей из стержней 81z1

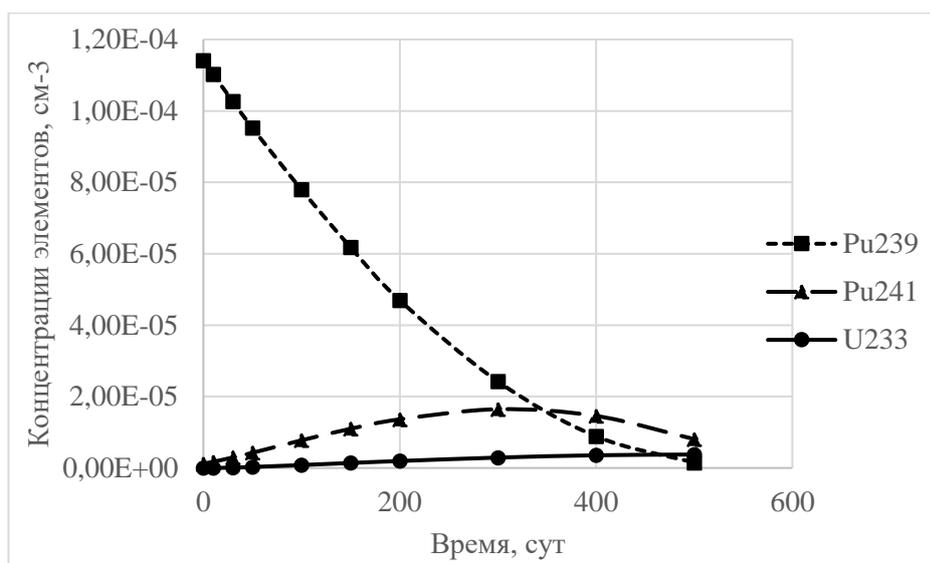


Рисунок 2.9 – Зависимость концентраций элементов от времени для активной зоны, состоящей из стержней 81z2

Изменение содержания топлива матрицы с 1% на 2% процента, никак не отразилось на характере кривых. Но, как можно было заметить, длительность кампании для стержней типа 83z1 и 83z2 ориентировочно в два раза больше, чем длительность кампании аналогичных стержней с меньшим содержанием топлива в матрице. При этом для стержня 81z1 $KB(U^{233}) = 0,08$, для 81z2 $KB(U^{233}) = 0,04$. Таким образом, увеличение доли топлива в матрице приводит также к увеличению коэффициента воспроизводства.

Для исследования влияния материального состава на воспроизводство U-233 были взяты стержни типа $xxzx$, в котором поровну содержится торий и плутоний ввиду того, что остальные 14 типов стержней не показали удовлетворительные результаты в плане длительности кампании. Сравнительная таблица с параметрами активных зон стержней типа $xxzx$ представлена ниже (Таблица 2.12).

Таблица 2.12 – Сравнительная таблица параметров АЗ с различными типами стержней

Тип стержня	Запас реактивности, %	Темп потери реактивности, %/сут	КВ	Глубина выгорания, %
81z1	17,9	$9 \cdot 10^{-3}$	0,08	98,5%
81z2	32,4	$2,6 \cdot 10^{-2}$	0,04	98,5%
83z1	13,8	10^{-2}	0,06	97%
83z2	29,2	$2,1 \cdot 10^{-2}$	0,09	97%

Таким образом, увеличение доли топлива в матрице приводит к увеличению коэффициента воспроизводства, при использовании оружейного плутония коэффициент воспроизводства меньше почти в два раза по сравнению с неоружейным плутонием, глубина выгорания при изменении доли топлива в матрице на 1% меняется незначительно.

2.2.4 Оптимизация параметров ячейки

Как показали расчеты выше, увеличение массовой доли плутония в ячейке в целом благоприятно сказывается на параметрах активной зоны, при этом наличие старших изотопов плутония позволяет увеличить коэффициент воспроизводства урана. Логично будет предположить, что, чем больше будет коэффициент воспроизводства, тем дольше будет длиться кампания реактора, таким образом, чем больше будет плутония в ячейке, тем дольше будет длиться кампания. Для сравнения, при работе на мощности 10 МВт для активной зоны, собранных из стержней 81z2 и 83z2 представлен рисунок 2.10.

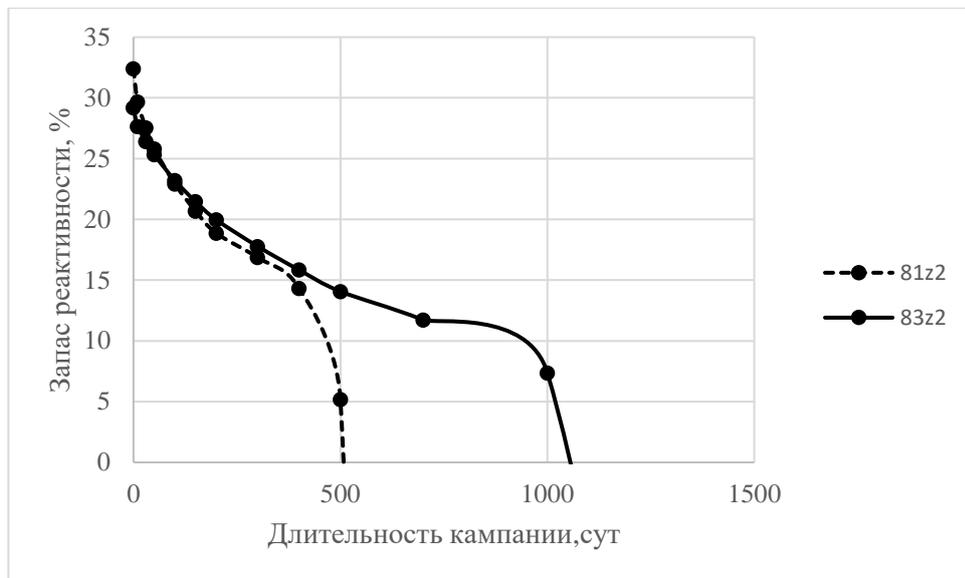


Рисунок 2.10 – Длительность кампании для двух разных стержней при работе на мощности 10 МВт

Видно, что длительность кампании увеличивается в два раза, логично было бы предположить, что с увеличением доли топливной части длительность кампании продолжает расти и дальше. Чтобы оценить этот рост была экспериментально определена зависимость длительности кампании от объемной доли топливной части. Результат представлен на рисунке 2.11.

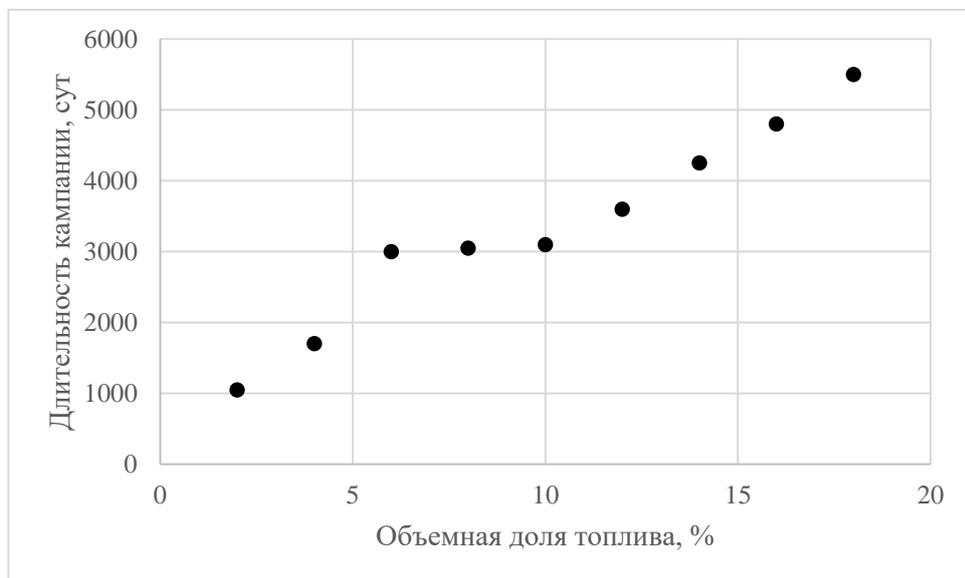


Рисунок 2.11 – Зависимость длительности кампании от объемной доли топлива
Видно, что зависимость почти линейная за исключением области 5-10%.

Стоит отметить, что при изменении доли топлива изменяется также и глубина выгорания плутония. Эта зависимость также была экспериментально определена и представлена на рисунке 2.12.

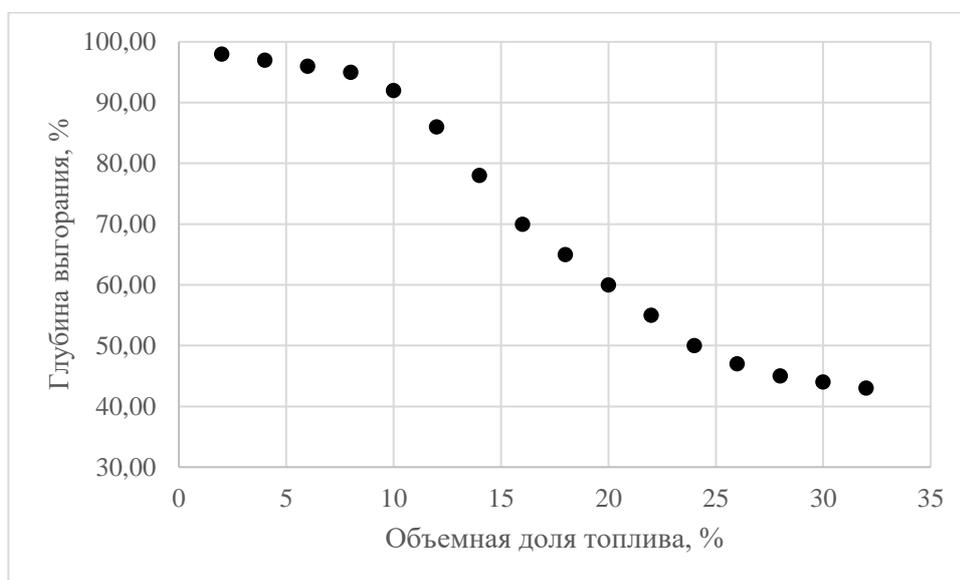


Рисунок 2.12 – Зависимость глубины выгорания от объемной доли топлива

До объемной доли равной 10% глубина выгорания монотонно убывает, затем начинается резкое падение и ближе к 30% глубина выгорания стабилизируется примерно на 40%. Стоит отметить, что с уменьшением глубины выгорания растет коэффициент воспроизводства. Если при объеме доли топлива равной 1%, коэффициент воспроизводства равняется примерно 0,03, то при объемной доле равной 10%, коэффициент воспроизводства возрастает до 0,16.

Таким образом, для того чтобы сохранить достаточно высокую глубину выгорания, увеличить коэффициент воспроизводства урана и увеличить длительность кампании было принято решение использовать стержень, в котором массовая доля плутония в матрице увеличена до 10%.

На следующем этапе, необходимо было оценить, как радиус стержня влияет на длительность кампании. До этого в экспериментах использовались стержни одного диаметра равного 0,8 мм. Для сравнения был выбран стержень диаметром 1мм. При увеличении диаметра стержня значительно увеличилась длительность кампании поэтому все следующие расчеты проводились уже с

заданной мощностью 50 МВт. Результаты расчета кампании стержней большего и меньшего диаметра представлена в таблице 2.13

Таблица 2.13 – Изменение реактивности со временем для стержней большего и меньшего диаметров

D= 0,8 мм		D = 1,0 мм	
t	ρ , %	t	ρ , %
0	29,28814	0	30,07717
10	28,81934	10	29,79126
30	28,34479	30	29,49027
50	27,91946	50	29,22398
100	26,99808	100	28,64584
150	26,16161	150	28,11785
200	25,36918	200	27,61077
300	23,90287	300	26,64561
400	22,44762	400	25,69613
500	20,97279	500	24,75449
700	18,16339	700	22,92503
1000	13,93096	1000	19,99718
1500	6,537689	1500	14,87862
1600	4,40922	2000	9,061065
1700	2,339363	2500	2,162694
1800	0,221807	2600	0,387096

Для $d=0,8$ мм, темп потери реактивности составил 0,16 %/сут, для $D = 1,0$ мм темп потери реактивности составил 0,0114 %/сут. При этом, увеличивая диаметр стержня, увеличивается длительность кампании примерно на 800 суток.

Для сравнения кривых реактивности представлен Рисунок 2.13.

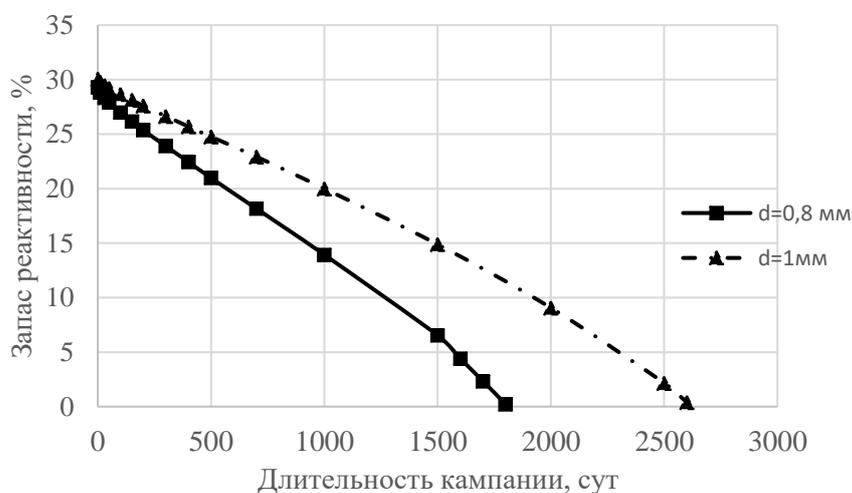


Рисунок 2.13 – Длительность кампании для двух стержней разного диаметра

В отличие от предыдущих результатов с меньшим содержанием плутония в матрице, где кривые реактивности имели четко выраженное «плато», в данном случае кривые имеют почти линейный характер. Длительность кампании при этом на мощности 50 МВт составила примерно 2700 суток. Для компоновки АЗ из стержней с массовой долей топлива в матрице 10%, с топливом в состав которого ходит оружейный плутоний при соотношении тория и плутония 1:1. Получились следующие характеристики, представленные в таблице 2.14

Таблица 2.14 – Характеристики активной зоны оптимизированной ячейки

Параметр	Значение
Мощность	50
Длительность кампании	2700 суток
Запас реактивности	30%
Темп потери реактивности	0,0114 %/сут
Коэффициент воспроизводства	0,16
Глубина выгорания	89 %

Таким образом, для конечного расчетного варианта, характерна большая глубина выгорания плутония, но при этом коэффициент воспроизводства U-233 по-прежнему остается маленьким даже в сравнении с реакторами типа ВВЭР. Подобная компоновка активной зоны, может быть успешно задействована, например, для утилизации оружейного плутония. Что касается производства энергии, подобную установку можно использовать как маломощный источник энергии для снабжения районов города. При успешной реализации производства топлива на основе тория, подобная идея может быть реализована в недалеком будущем.

Результаты, полученные в исследовании о влияние материального состава на длительность кампании, воспроизводства урана и размножающие свойства среды в дальнейшем могут быть использованы для более детального и качественного описания ВГТР.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Около 90% всех существующих АЭС в качестве топлива используют диоксид урана. Хотя данный вид топлива и зарекомендовал себя, как надежный источник энергии, но он также обладает рядом минусов, что делает актуальным исследование по разработке новых видов топлива, а также новых типов реакторных установок.

На данный момент на рынке России есть 22 действующих установки типа ВВЭР, 6 типа РБМК, и 2 установки типа БН. В качестве конкурентного решения в работе будет рассмотрена установка, использующая топливо на основе тория,

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Для выполнения детального анализа предполагается выбрать наиболее значимые критерии, которые, так или иначе отображают эффективность научной разработки и позволяют определить направление для повышения этой самой эффективности.

По каждому из критериев выставляется оценка по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная позиция. Так же определяется вес каждого из показателей. Сумма весов показателей в совокупности равна единице.

Конкурентоспособность технического решения определяется следующим образом:

$$K = \sum B_i \cdot b_i, \quad (3.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Результаты расчетов конкурентоспособности технических решений представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Оценочная карта для сравнения 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 обогащаемого материала							
1. Распространенность топлива	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
2. Безопасность	0,12	4	4	3	0,48	0,48	0,36
3. Побочные продукты	0,11	5	3	3	0,55	0,33	0,33
4. Физикохимические свойства ЯТ	0,14	5	4	4	0,7	0,56	0,56
5. Габариты ЯЭУ	0,09	5	4	2	0,45	0,36	0,18
6. Простота производства топлива	0,11	2	3	3	0,22	0,33	0,33
7. Обращение с РАО	0,12	3	3	3	0,36	0,36	0,36
8. Исследованность в области	0,11	2	5	5	0,22	0,55	0,55
Экономические критерии оценки эффективности							
9. Цена производства ЯТ	0,1	2	4	4	0,2	0,4	0,4
10. Длительность кампании	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Итого:	1	38	36	34	4,18	3,97	3,77

В таблице 3.1 были приняты следующие условные обозначения:

B_{ϕ} – реактора типа ВТГР;

B_{k1} – реактора типа ВВЭР-1000;

B_{k2} – реактор типа РБМК-1000.

По результатам анализа видно, что реактор типа ВТГР не уступает конкурентам, основная проблема проекта – это его стоимость, к тому же для его реализации необходимы соответствующие инвестиции, однако многообещающие физико-химические свойства могут оправдать эти вложения.

3.1.3 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. Он проводится в несколько этапов.

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 качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Торий в 3-4 раза более распространенный элемент чем уран</p> <p>С2. Торий имеет некоторые более привлекательные ядерные свойства по сравнению с ураном</p> <p>С3. Ториевые топлива обладают некоторыми благоприятными физическими и химическими свойствами</p> <p>С4. Ядерные реакторы на ториевом топливе более безопасны чем на урановом</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. В отличие от проработанной технологии производства уранового топлива, технология по производству ториевого топлива все еще в разработке</p> <p>Сл2. В общем и целом, использование тория в реакторе дороже, чем использование урана</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. По оценкам экспертов запасов урана из разведанных источников хватит еще примерно на 60 лет, с уменьшением запасов вероятно возрастет спрос на альтернативные виды топлива</p> <p>В2. Для использования ториевого топлива не обязательно проектировать новые установки, достаточно адаптировать существующие</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Не самый большой спрос на новые технологии в отрасли</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. Из-за недостатка финансирования реализация проекта может затянуться более чем на десять лет</p>		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильным сторонам возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 3.3, 3.4, 3.5 и 3.6.

Таблица 3.3 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	-	-	-
	B2	-	+	+	+

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	-	-
	B2	-	-

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны					
Угрозы		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	-	0
	У2	-	0	0	+
	У3	-	-	-	-

Таблица 3.6 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабы стороны			
Угрозы		Сл1	Сл2
	У1	+	+
	У2	+	+
	У3	-	-

Таким образом, в рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Торий в 3-4 раза более распространенный элемент чем уран</p> <p>С2. Торий имеет некоторые более привлекательные ядерные свойства по сравнению с ураном</p> <p>С3. Ториевые топлива обладают некоторыми благоприятными физическими и химическими свойствами</p> <p>С4. Ядерные реакторы на ториевом топливе более безопасны чем на урановом</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. В отличие от проработанной технологии производства уранового топлива, технология по производству ториевого топлива все еще в разработке</p> <p>Сл2. В общем и целом, использование тория в реакторе дороже, чем использование урана</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. По оценкам экспертов запасов урана из разведанных источников хватит еще примерно на 60 лет, с уменьшением запасов вероятно возрастет спрос на альтернативные виды топлива</p> <p>В2. Для использования ториевого топлива не обязательно проектировать новые установки, достаточно адаптировать существующие</p>	<p>С течением времени актуальность ториевого топлива очевидно будет расти, поэтому начиная разработку сейчас, ее стоимость соответственно возрастет в будущем</p>	<p>«Дорогое» ториевое топливо в будущем окупит себя, из-за уменьшающегося количества уранового топлива спрос на ториевое топливо вырастет, поэтому своевременная реализация проекта сможет оправдать вложения</p>

<p>Угрозы: У1. Не самый большой спрос на новые технологии в отрасли У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Из-за недостатка финансирования реализация проекта может затянуться более чем на десять лет</p>	<p>Предложение более безопасного и простого варианта производства энергии может увеличить спрос</p>	<p>Хорошо проработанные методы производства традиционного ядерного топлива занимают большую нишу на рынке, поэтому предложение новой технологии, которая требует вложения взамен, надежной и хорошо исследованной может не получить должного внимания и соответственно остаться без финансирования</p>
--	---	--

3.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения альтернатив был использован морфологический метод. Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых представляет практический интерес. В таблице 3.8 представлена морфологическая матрица для ВГТР.

Таблица 3.8 – Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Топливо	(Th+Pu)O ₂	(U+Pu)O ₂	Карбиды и нитриды
Б. Теплоноситель	Гелий	Углекислый газ	Водород
В. Тип твэла	Шаровой	Стержневой	-
Г. Размер установки	Большой	Средний	Малый

3.3 Планирование научно-исследовательских работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: бакалавр, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Длительность работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	1	Руководитель, студент
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	2	Руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по ВТГР	20	Руководитель, студент
	4	Календарное планирование работ по теме	1	Руководитель
Теоретические исследования	5	Моделирование элементарной ячейки ВТГР	10	Студент
	6	Многогрупповой расчет и оценка коэффициента размножения нейтронов	5	Студент
	7	Оптимизация параметров ячейки	14	Студент

Продолжение таблицы 3.9

Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	3	Руководитель, студент
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	1	Руководитель, студент
Разработка технической документации и проектирование	10	Оценка эффективности производства и применения разработки	5	Студент, консультант по ЭЧ
	11	Разработка социальной ответственности по теме	5	Студент, консультант СО
Оформление комплекта документации по ВКР	12	Составление пояснительной записки	15	Студент
Итого:	Студент	Руководитель	Консультант ЭЧ	Консультант СО
	81 день	28 дней	5 дней	5 дней

Согласно перечню этапов работ, был составлен график Ганта представленный в приложении Б.

3.3.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на основное оборудование для научно-экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.3.2.1 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.2)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.3)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.4)$$

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, рабочие дни.

Таблица 3.10 – Баланс рабочего времени для инженера

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер	Лаборант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней	52	52	52
- выходные дни	14	14	14
- праздничные дни			
Потери рабочего времени	48	48	48
- отпуск	7	7	7
- невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	245	245	245

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (4.5)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{tc});

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от Z_{tc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная тарифная заработная плата ($Z_{П_{дн-т}}$) рассчитывается по формуле:

$$Z_{tc} = \frac{MO}{25,083}. \quad (4.6)$$

Учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе). Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 3.11. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы – 3.9. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{пр} = 1,1$; $K_{доп.ЗП} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к

соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$. Вышеуказанное значение $K_{доп.ЗП}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{и} = 1,62$.

Таблица 3.11 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная тарифная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
Руководитель	33664	1342,09	28	1,699	63841,62
Студент	15470	616,75	81	1,62	80929,93
Консультант 1	33664	1342,09	5	1,699	11 401,05
Консультант 2	33664	1342,09	5	1,699	11 401,05
Итого					167573,66

3.3.2.2 Расчет дополнительной заработной платы

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 (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

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

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Принимая $k_{доп} = 0,12$:

$$Z_{доп} = 0,12 \cdot 167573,66 = 20108,76 \text{ руб.}$$

3.3.2.3 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

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:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды равный 30,2% (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Тогда сумма отчислений равна:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot (20108,76 + 167573,66) = 56680,09 \text{ руб}$$

3.3.2.4 Расчет накладных расходов

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} * t_{\text{об}} * \text{ЦЭ}, \quad (4.9)$$

где $P_{\text{об}}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

ЦЭ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ ЦЭ = 5,748 руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы – 3.9 для студента (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{\text{об}} = T_{\text{рд}} * K_t, \quad (4.10)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени. Возьмем его равным 1.

Общее время, проведенное за компьютером 648 часов.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} * K_C, \quad (4.11)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$ – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности $K_C = 1$.

Для рабочего компьютера номинальная мощность составляет 0,3 кВт. Таким образом, стоимость электроэнергии при работе за компьютером:

$$C_{эл.об} = 0,3 * 648 * 5,748 = 1117,41 \text{ руб.}$$

Также был необходим доступ в интернет, для поиска необходимой информации. Стоимость месячного обслуживания составляет 350 рублей. Использование интернета осуществлялось в течение трех месяцев. Соответственно, затраты на составили 1050 рублей.

Общая стоимость накладных расходов 2167,41 рублей.

3.3.2.6 Амортизационные отчисления

Расчет амортизации ПК: первоначальная стоимость 122000 рублей; срок полезного использования для машин, на которых будет выполняться написание статьи, сбор данных и др. составляет 4-5 лет, берем 4,5 лет; планируем использовать ПК для написания статьи в течение 81 день.

Норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{4,5} * 100\% = 22,22\%$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = 122000 * 0,22 = 27\ 111 \text{ руб.}$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = \frac{27\,111}{12} = 2\,259 \text{ руб.}$$

Итоговая сумма амортизации основных средств:

$$A = 2259 * 3 = 6777 \text{ руб.}$$

3.3.2.7 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 таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Бюджет затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	3800,00
Затраты на амортизацию	6777,00
Затраты на основную заработную плату	167573,66
Затраты на дополнительную заработную плату	20108,76
Отчисления во внебюджетные фонды	56680,09
Накладные расходы	2167,41
Общий бюджет	257106,92

Таким образом, плановая себестоимость проекта 257106,92 рублей.

3.4 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 ресурсоэффективности. Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Так как работа проводилась при помощи специальной программы расчета (исп. 1), то альтернативным вариантом ее исполнения будет, соответственно другая программа (исп. 2). В качестве аналога была взята программа MCU, по сравнению с WIMS-D5B, в которой производились вычисления длительность вычислений MCU, гораздо больше, но при этом увеличивается соответственно точность результатов. Условно при втором исполнении стоимость за счет увеличения длительности работ увеличится примерно в 2 раза, таким образом, себестоимость второго исполнения будет 500 тыс.руб.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.12)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – 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).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.13)$$

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.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	4
3. Энергосбережение	0,15	5	4
3. Надежность	0,20	4	5
4. Воспроизводимость	0,25	5	4
5. Материалоемкость	0,15	5	5
ИТОГО	1	4,8	4,35

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является

более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i.}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \quad (4.14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.15)$$

Таблица 3.14 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,51	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	9,41	4,35
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,16	0,46

В результате оценки эффективности вариантов исполнения проекта наиболее эффективным оказался вариант, в котором расчет нейтронно-физических параметров реактора производится с помощью программы WIMS-D5B. Однако если есть необходимость в проведении более точных вычислений, то второй вариант может оказаться вполне себе эффективным. В рамках этой работы предпочтения отдается первому варианту исполнения.

В рамках данного раздела ВКР была проведена оценка конкурентоспособности высокотемпературного газоохлаждаемого ториевого

реактора по сравнению с другими реакторными установками, рассчитан показатель, оценивающий перспективность данной технологии, который определяет уровень перспективности как «выше среднего». Был составлен перечень этапов работ для расчета и оптимизации нейтронно-физических параметров и определена их трудоемкость, построен календарный план-график выполнения работ. Рассчитан ориентировочный бюджет на создание научной разработки, а также проведена оценка эффективности научного исследования с позиции ресурсосбережения и сравнительная эффективность разработки.

4 Социальная ответственность

В данной научно-исследовательской проводится расчет элементарной ячейки реактора ВГТР в программе WIMS D5B, с помощью программного обеспечения производится оценка влияния материального состава среды на ее размножающий свойства, длительность кампании, глубину выгорания и коэффициент воспроизводства. Оценка производится с помощью персонального компьютера в кабинете 321 10-го корпуса ТПУ.

В данном разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, возможные при проведении исследовательских работ, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

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 [16], 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.

Вредными факторами при выполнении работ с использованием ПЭВМ являются:

- отклонения показателей микроклимата;
- повышенный уровень электромагнитного излучения;
- повышенный уровень шума;
- нервно-психические перегрузки;
- недостаточная освещённость рабочей зоны.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно Трудовому Кодексу Российской Федерации [17], каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы и среднего заработка во время прохождения осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

4.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Электромагнитное излучение представляет существенную опасность для человека по сравнению с другими вредными факторами. В рассматриваемом случае источником электромагнитного излучения является компьютерная

техника (монитор и системный блок). Длительное воздействие интенсивных электромагнитных излучений может вызывать повышенную утомляемость, появление сердечных болей, нарушение функций центральной нервной системы. Следует отметить, что нагревание процессора при работе вызывает выработку некоторых вредных соединений, которые в свою очередь приводят к деионизации окружающего пространства.

Нормы электромагнитных полей, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 4.1, в соответствии с [18].

Таблица 4.1 – Допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ на рабочих местах

Наименование параметров	Диапазон частот	ВДУ ЭМП
Напряжённость электрического поля	5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Существует ряд рекомендаций, следуя которым можно уменьшить негативное воздействие от компьютерной техники:

1) Если несколько компьютеров или ноутбуков постоянно находятся в одном помещении, то следует располагать их по периметру комнаты, оставляя центр свободным, поскольку боковые стороны и задняя поверхность монитора генерируют гораздо больше вредного излучения.

2) Выключать компьютер после окончания работы: чем дольше он работает, тем больше излучения генерирует, и выделяет существенное количество вредных веществ в окружающую среду.

3) Использование специальной защитной пленки.

4) Систематическое вытирание пыли, влажная уборка и применение ионизаторов [19].

4.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Источниками света могут быть как естественные (солнце), так и искусственные объекты (электрические лампочки). При длительной работе в

условиях недостаточной освещенности и при нарушении других параметров световой среды возникает вероятность снижения зрительного восприятия, развития близорукости, появления головной боли.

Основной поток естественного света должен быть слева. Солнечные лучи и блики не должны попадать в поле зрения оператора и на мониторы.

Экран монитора должен располагаться в зоне защитного узла светильника, и его проекция должна быть вне экрана монитора.

Согласно [18], освещенность в кабинете высшего учебного учреждения 300 лк. Необходимое количество светильников N определяется с помощью выражения

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K}{U \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (4.1)$$

где E – требуемая освещенность;

S – площадь кабинета равная 29 м²;

K – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации равный 1,4;

U – коэффициент использования равный 0,49;

n – количество ламп в светильнике, $n = 4$;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы равный 1050 Лм.

$$N = \frac{300 \cdot 29 \cdot 1,4}{0,49 \cdot 4 \cdot 1050} = 5,9 \text{ шт.}$$

Во избежание недостаточного освещения рабочего пространства расчетное количество светильников округляется до целого в большую сторону. Таким образом, необходимое количество светильников в кабинете 321 10-го корпуса равняется 6-ти штукам.

4.4 Превышение уровня шума

Шум на рабочем месте оказывает раздражающее влияние на работника, повышает его утомляемость, а при выполнении задач, требующих внимания и

сосредоточенности, способен привести к росту ошибок и увеличению продолжительности выполнения задания. Длительное воздействие шума влечет тугоухость работника вплоть до его полной глухоты.

В таблице 4.2 представлены допустимые уровни (ПДУ) шума в учебном кабинете согласно [18].

Таблица 4.2 – Значения ПДУ шума

Уровни звукового давления (Дб) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Максимальный уровень звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
79	63	52	45	39	35	32	30	28	55

Уровень шума на рабочих местах во время работы на ПЭВМ не должен превышать 55 дБ. Для снижения уровня шума потолок или стены должны облицовываться звукопоглощающим материалом с максимальным коэффициентом звукопоглощения в области частот от 63 до 8000 Гц [20]. Дополнительным звукопоглощением служат занавески на окнах, выполненные из плотной тяжелой ткани.

4.5 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это условия внутренней среды помещений (сочетания температуры, влажности, скорости движения воздуха), влияющие на тепловое состояние человека и определяющие работоспособность, здоровье и производительность труда. Для обеспечения безопасного производства работ необходимо соблюдать требования определяемые [18]. В таблице 4.3 представлены оптимальные нормы.

Таблица 4.3 – Оптимальные нормы микроклимата в рабочей зоне

Период года	Температура воздуха, 0С не более	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	22-24	15-75	не более 0,1
Теплый	23-25	15-75	0-0,2

В компьютерных помещениях должна проводиться ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы. Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяют устройства систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления [21].

Согласно [22] в кабинете необходима кратность воздухообмена $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека. Кабинет, в котором выполнялась работа рассчитан на 3 рабочих места, таким образом производительность вентиляции составит:

$$L = k \cdot Q = 3 \cdot 40 = 120 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}, \quad (4.2)$$

где k – количество человек;

Q – кратность воздухообмена на одного человека.

Такую производительность обеспечивает вентилятор типа Вентс 125 ВКО с максимальной производительностью $185 \text{ м}^3/\text{ч}$ и мощностью 16 Вт [23].

4.6 Психофизиологические факторы

Нервно-психические перегрузки подразделяют на:

- умственное перенапряжение, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- перенапряжение анализаторов, в том числе вызванное информационной нагрузкой;
- монотонность труда - эмоциональные перегрузки.

Перенапряжение зрительных анализаторов может привести к утомлению и нарушению сократительной функции глазных мышц. Нервно-эмоциональное напряжение может быть вызвано ответственностью за выполняемую работу, высокими требованиями к качеству выполняемых работ, сложностью работы, особенно в условиях дефицита времени. Нервно-эмоциональное напряжение может нарушить функциональное состояние сердечнососудистой и центральной нервной системы [24].

Для снижения воздействия вредных факторов, устанавливаются рамки длительности перерывов. В таблице 4.4 приведено суммарное время отдыха для каждой категории работ [25].

Таблица 4.4 – Суммарное время перерывов в зависимости от категории работы и нагрузки

Категория работы	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работ с ПЭВМ			Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене, мин
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, часов	
I	до 20 000	до 15 000	до 2	50
II	до 40 000	до 30 000	до 4	70
III	до 60 000	до 40 000	до 6	90

В данном случае уровень нагрузки относится к группе В, категория работы III. Согласно таблице, требуется установить перерывы, сумма которых за рабочее время составит не менее 90 минут т.е. перерывы по 15 минут каждый трудовой час [25].

4.7 Электробезопасность

Согласно [26], 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. Рабочий кабинет относится к 1-й категории по электробезопасности, так как на рабочем месте отсутствуют электроустановки с напряжением свыше 1000 В.

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.

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 надёжной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, токоведущих частей) [26].

4.8 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [27], 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 [27].

4.9 Аварийные и чрезвычайные ситуации на предприятии

В таблице 4.5 рассмотрены аварийные и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть на рабочем месте, меры их предотвращения и действия в случае их возникновения.

Таблица 4.5 – Аварийные и чрезвычайные ситуации на рабочем месте, меры их предотвращения и действия в случае их возникновения [28-30]

№	Аварийные и чрезвычайные ситуации	Меры предотвращения аварийных и чрезвычайных ситуаций	Действия в случае возникновения аварийных и чрезвычайных ситуаций
1	Пожар	1) проверять состояние электро-технических устройств и отопительных приборов; 2) соблюдать правила пожарной безопасности согласно требованиям нормативной документации; 3) проводить обучение и инструктаж сотрудников, отрабатывать навыки пожаротушения	1) при возникновении пожара звонить 01,101,112; 2) в качестве средств тушения использовать порошковые и углекислотные огнетушители

Продолжение таблицы 4.5

2	Аварии с электро-оборудованием	<p>1) не допускать повреждения изоляции токоведущих частей электрических установок;</p> <p>2) проводить плановые проверки электрооборудования;</p> <p>3) соблюдать допустимое расстояние между изоляторами и проводами;</p> <p>4) выполнять правила техники безопасности и технической эксплуатации;</p> <p>5) проводить обучение и инструктаж работников;</p> <p>6) установить защитное заземление.</p>	<p>1) отключить напряжение на поврежденной установке;</p> <p>2) отгородить место, поставить знаки;</p> <p>3) при наличии пострадавших оказать первую помощь и вызвать скорую помощь по телефонам 112, 103</p>
3	Падение с высоты	<p>1) необходимо убедиться, что компьютерные провода не находятся на пути передвижения, в случае нарушения сообщить руководителю;</p> <p>2) не использовать вместо лестницы стул, стол и т.д.;</p> <p>3) не допускать размещения оборудования и документации на полках и шкафах, доступ к которым невозможен без стремянки;</p> <p>4) передвигаясь по лестницам, всегда необходимо держаться за поручень и смотреть под ноги;</p> <p>5) не держать руки в карманах, т.к. в случае падения инстинктивные движения помогут удержаться на ногах;</p> <p>5) никогда не переносить предметы, держа их перед собой, закрывая обзор;</p> <p>6) очищать обувь от грязи, льда и прочих загрязнений перед входом в здание</p>	<p>1) провести осмотр тела и головы пострадавшего на наличие открытых ран и ссадин;</p> <p>2) попросить произвести движения кончиками пальцев, что позволит исключить повреждения позвоночника;</p> <p>3) движение руками и ногами позволит исключить наличие переломов;</p> <p>4) опросить пострадавшего о нарушениях общего самочувствия: головокружении, сонливости, тошноте – эти признаки свидетельствуют о сотрясении мозга;</p> <p>5) в случае отсутствия серьезных травм на место ушиба кладут холодный компресс и сопровождают пострадавшего до дома;</p> <p>6) в случае наличия серьезных травм необходимо позвонить в 03(103) или 112 и сообщить о случившемся</p>

4.10 Выводы по разделу

В разделе выявлены опасные и вредные факторы, воздействию которых может подвергнуться сотрудник при проведении исследовательской работы, связанной с работой за ПЭВМ:

- шум [20];
- электромагнитное излучение [22];
- недостаточная освещенность [22];
- микроклимат [22];
- психофизические факторы [25].

Определено, что кабинет 329 11-го корпуса относится:

- к 1-й категории по электробезопасности [26];
- к категории В по пожарной и взрывной безопасности [27].

Установлено, что выполняемая работа не сопряжена с высоким риском травматизма. Освещенность на рабочем месте и уровни шума находятся в допустимых пределах нормы [22]. Микроклиматические условия соблюдаются за счет использования систем отопления и кондиционирования. Вероятность поражения электрическим током сведена к минимуму. Помещение оборудовано согласно требованиям электробезопасности [26] и пожаро- и взрывобезопасности [27]. Исходя из сказанного, следует, что рабочее место соответствует нормам по защищённости от вредных и опасных факторов.

В заключительной части раздела рассмотрены меры по предотвращению наиболее вероятных аварийных и чрезвычайных ситуаций на рабочем месте, а также меры в случае их возникновения [28-30].

Заключение

В ходе работы смоделирована элементарная ячейка ВГТР, изменяя материальный состав исследовалось, как при этом меняются размножающие свойства среды, длительность кампании, глубина выгорания, коэффициент воспроизводства урана и запас реактивности.

При увеличении доли топлива в матрице увеличивается коэффициент воспроизводства, глубина выгорания уменьшается зависимости параметров представлены в главе 2.

Использование плутония с сравнительно меньшим обогащением, чем у оружейного плутония, также позволяет увеличить коэффициент воспроизводства, запас реактивности при этом меньше.

Для конечного рассчитанного варианта, при работе на мощности 50 МВт были получены следующие параметры:

- Глубина выгорания Pu^{239} составила 89%
- Запас реактивности 30%
- Длительность кампании 2700 суток
- Коэффициент воспроизводства 0,16

Результаты, полученные в исследовании в дальнейшем, могут быть использованы для более детального и качественного описания ВГТР.

Бюджет данной научно-исследовательской работы составил 257106,92 рублей.

Также выявлены вредные факторы, которые могут воздействовать на исполнителя данной работы на рабочем месте. Рассмотрены меры по предотвращению наиболее вероятных аварийных и чрезвычайных ситуаций на рабочем месте, а также меры в случае их возникновения.

Список использованных источников

1. Шаманин И. В. и др. Газоохлаждаемый ядерный реактор с ториевым топливом на основе топливного блока унифицированной конструкции //Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2015. – №. 3. – С. 124-134.
2. Bäumer R. The situation of the thorium high-temperature reactor 300 (THTR 300) in October 1989 //VGB Kraftwerkstechnik. – 1990. – Т. 70. – №. 1. – С. 8-14.
3. Митенков Ф. М. и др. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор-энергоисточник для промышленного производства водорода //Атомная энергия. – 2004. – Т. 97. – №. 6. – С. 432-446
4. Логинова С. С. и др. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы //Вестник науки и образования. – 2018. – №. 15-2 (51).
5. Гребенник В. Н., Пономарев-Степной Н. Н. Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы-инновационное направление развития атомной энергетика. – 2008.
6. Yan X. et al. GTHTTR300 design and development //Nuclear Engineering and Design. – 2003. – Т. 222. – №. 2-3. – С. 247-262.
7. Аржанников А. В. и др. Гибридная ториевая реакторная установка с источником термоядерных нейтронов на основе магнитной ловушки //Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. – 2019. – №. 2. – С. 43-54.
8. Пелымский Г. А. и др. Торий-перспективный сырьевой ресурс атомной энергетика //Рациональное освоение недр. – 2012. – №. 1. – С. 30-45.
9. Денискин В. П. и др. микротвэл ядерного реактора. – 2008.
10. Алексеев С. В., Зайцев В. А., Толстоухов С. С. Дисперсионное ядерное топливо. – 2015.
11. Воеводин В. Н. Конструкционные материалы ядерной энергетика–вызов 21 века //Вопросы атомной науки и техники. – 2007.

12. Виргильев Ю. С. и др. Графит для высокотемпературного газоохлаждаемого реактора ГТ-МГР //Атомная энергия. – 2007. – Т. 103. – №. 4. – С. 235-237.
13. Воеводин В. Н. и др. Углерод-графитовые материалы в ядерной энергетике (обзор) //Вопросы атомной науки и техники. – 2015.
14. WIMSD-IAEA Library [Электронный ресурс] / Url: <http://nucleus.iaea.org/CIR/CIR/WIMSDLibrary.pdf> – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 06.05.2017 г
15. Shamanin I. V. et al. Neutronic properties of high-temperature gas-cooled reactors with thorium fuel //Annals of Nuclear Energy. – 2018. – Т. 113. – С. 286-293.
16. Российская Федерация. Законы. Об основах охраны труда в Российской Федерации (с изменениями на 26 декабря 2005 года) : Федеральный закон № 181-ФЗ : [Принят Государственной Думой 23 июня 1999 года]. – Москва, 1999. – 20 с.
17. Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 20 апреля 2021 года) : Федеральный закон № 197-ФЗ : [Принят Государственной Думой 21 декабря 2001 года]. – Москва, 2021 – 246 с.
18. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: дата введения 2021-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 21.04.2021). – Текст : электронный.
19. crabo.ru : компьютерный портал : сайт. – Москва, 2021. – URL: <https://crabo.ru/> (дата обращения: 23.04.2021). – Текст: электронный.
20. studwood.ru : Учебные материалы онлайн : сайт. – 2017-2021. – URL: <https://studwood.ru/> (дата обращения: 26.04.2021). – Текст: электронный.
21. studbooks.net : Студенческая библиотека онлайн : сайт. – 2013-2021. – URL: <https://studbooks.net> (дата обращения: 28.04.2021). – Текст: электронный.
22. СНиП 41-01-2003. ОТОПЛЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ: дата введения 2004-01-01. – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/1200035579> (дата обращения: 05.05.2021). – Текст : электронный.

23. Vents : сайт. – 2017-2021.– URL: <https://www.vents.ru/> (дата обращения 07.05.2021). – Текст: электронный.

24. Vuzlit.ru : Архив студенческих работ : сайт. – 2017-2021. – URL: <https://vuzlit.ru>. (дата обращения: 07.05.2021). – Текст: электронный.

25. ТОИ Р-45-084-01. Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере: дата введения 2001-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030047/> (дата обращения 10.05.2021). – Текст: электронный.

26. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность: дата введения 1983-07-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 12.05.2021). – Текст: электронный.

27. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности (с изменениями на 27 декабря 2018 года) : Федеральный Закон № 123-ФЗ : [Принят Государственной Думой 4 июля 2008 года]. – Москва, 2018. – 103 с.

28. МЧС России: официальный сайт. – Москва, 2021. – Обновляется в течение суток. – URL: <https://www.mchs.gov.ru/> (дата обращения: 13.05.2021). – Текст: электронный.

29. Онлайн-журнал про охрану труда : сайт. – 2017-2021. – URL: <https://ohranatryda.ru/> (дата обращения: 13.05.2021). – Текст: электронный.

30. propomosch.ru : сайт. – 2021. – URL: <https://propomosch.ru/> (Дата обращения 13.05.2021). – Текст: электронный.

Приложение А

(обязательное)

CELL 7

SEQUENCE 1

NGROUP 69 2

NMESH 15

NMATERIAL 5 2

NREGION 3 1 7

NRODS 78 1 100 100 10 3 2

PREOUT

INITIATE

RODSUB 1 1 0.45 1

RODSUB 1 2 0.48 2

RODSUB 1 3 0.5 3

RODSUB 2 1 0.8 3

RODSUB 2 2 0.9 2

RODSUB 3 1 0.45 1

RODSUB 3 2 0.48 2

RODSUB 3 3 0.5 3

RODSUB 4 1 0.45 1

RODSUB 4 2 0.48 2

RODSUB 4 3 0.5 3

RODSUB 5 1 0.45 1

RODSUB 5 2 0.48 2

RODSUB 5 3 0.5 3

RODSUB 6 1 0.45 1

RODSUB 6 2 0.48 2

RODSUB 6 3 0.5 3

RODSUB 7 1 0.45 1
RODSUB 7 2 0.48 2
RODSUB 7 3 0.5 3
RODSUB 8 1 0.45 1
RODSUB 8 2 0.48 2
RODSUB 8 3 0.5 3
RODSUB 9 1 0.45 1
RODSUB 9 2 0.48 2
RODSUB 9 3 0.5 3
RODSUB 10 1 0.45 1
RODSUB 10 2 0.48 2
RODSUB 10 3 0.5 3

MATERIAL 1 -1 1300 1 6239 0.00108011 2232.1 0.00121361 \$
6016 0.00485443 29 0.01297847 2012 0.06515270 \$
1240 0.00012136 1241 0.00001214 \$
MATERIAL 2 -1 1300 2 29 0.04806 2012 0.04806
MATERIAL 3 -1 1300 3 4 0.02213
MATERIAL 4 -1 1300 4 2012 0.082

ANNULUS 1 0.8 3 5
ANNULUS 2 0.9 2 5
ANNULUS 3 7.5 4 5

MESH 5 5 5

ARRAY 1 2 1 -6 -3., 2 1 -6 -2.,
2 1 -6 -1., 2 1 -6 0., 2 1 -6 1.,
2 1 -6 2., 2 1 -6 3.,

ARRAY 2 2 1 0 4., 2 1 4 2., 2 1 4 -2.,
 2 1 0 -4., 2 1 -4 -2., 2 1 -4 2.,
 ARRAY 3 2 1 0 -2., 2 1 -1 -2.5,
 2 1 -2 -3., 2 1 -3 -3.5, 2 1 1 -1.5,
 2 1 2 -1., 2 1 3 -0.5, 2 1 4 0., 2 1 5 0.5,
 ARRAY 4 2 1 1 -2.5, 2 1 2 -3, 2 1 3 -3.5,
 2 1 -1 -1.5, 2 1 -2 -1., 2 1 -3 -0.5,
 2 1 -4 0., 2 1 -5 0.5,
 ARRAY 5 2 1 -5 -0.5, 2 1 -3 0.5, 2 1 -2 1.,
 2 1 -1 1.5, 2 1 0 2., 2 1 1 2.5, 2 1 2 3.,
 2 1 3 3.5,
 ARRAY 6 2 1 5 -0.5, 2 1 3 0.5, 2 1 2 1.,
 2 1 1 1.5, 2 1 -1 2.5, 2 1 -2 3., 2 1 -3 3.5,
 ARRAY 7 2 1 -2 -4., 2 1 2 -4., 2 1 -2 -2.,
 2 1 2 -2., 2 1 2 2., 2 1 -2 2., 2 1 2 4.,
 2 1 -2 4.,
 ARRAY 8 2 1 6 -3., 2 1 6 -2., 2 1 6 -1.,
 2 1 6 0., 2 1 6 1., 2 1 6 2., 2 1 6 3.,
 ARRAY 9 2 1 -5 -3.5, 2 1 -4 -4.,
 2 1 -3 -4.5, 2 1 -2 -5., 2 1 -1 -5.5,
 2 1 0 -6., 2 1 1 -5.5, 2 1 2 -5.,
 2 1 3 -4.5, 2 1 4 -4., 2 1 5 -3.5,
 ARRAY 10 2 1 -5 3.5, 2 1 -4 4.,
 2 1 -3 4.5, 2 1 -2 5., 2 1 -1 5.5
 2 1 0 6., 2 1 1 5.5, 2 1 2 5.,
 2 1 3 4.5, 2 1 4 4., 2 1 5 3.5,
 NPIJAN 3
 POWERC 1 115 10
 BEGINC
 BEGINC

