

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Управление критичностью реакторной установки ВТГР с композитным дисперсионным ядерным топливом

УДК 621.039.519:621.039.54:621.039.577

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Пасько Дмитрий Вячеславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Беденко Сергей Владимирович	к.ф.-м.н.		

Консультант ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Кнышев Владимир Владимирович			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Селиваникова Ольга Валерьевна			

Планируемые результаты обучения

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области

ПК(У)-2	Способностью проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа
ПК(У)-3	Готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
ПК(У)-4	Способностью использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
ПК(У)-5	Готовностью к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
ПК(У)-6	Способностью использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
ПК(У)-7	Способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-8	Готовностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
ПК(У)-9	Способностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
ПК(У)-10	Готовностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
ПК(У)-11	Способностью к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
ПК(У)-12	Готовностью к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
ПК(У)-13	Способностью 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
ПК(У)-14	Готовностью разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
ПК(У)-15	Способностью к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки: 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ): Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A93	Пасько Дмитрию Вячеславовичу

Тема работы:

Управление критичностью реакторной установки ВТГР с композитным дисперсионным ядерным топливом	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	<i>31.01.2023 №31-8/с</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объект исследования – комплексная система управления и защиты реакторной установки типа ВТГР</p> <p>Проведение расчета системы управления и защиты реактора типа ВТГР с учетом выгорающих поглотителей и дополнительного метода регулирования критичностью в виде газообразного соединения бора</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проанализировать спектр потока нейтронов реактора типа ВТГР; 2. Подобрать наиболее эффективный материал с учетом спектра в качестве основной защиты реакторной установки в системах управления и защиты реактора и выгорающих поглотителей; 3. Составить возможную схему размещения компенсирующих элементов; 4. Оценить вес поглощающего стержня, а также оптимальное расстояние между органами СУЗ; 5. Оценить вклад выгорающего поглотителя в виде покрытия на топливные таблетки; 6. Проанализировать эффективность применения трифторида бора (BF_3) в качестве дополнительного метода регулирования и аварийной защиты установки.

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	– Презентация; – Чертеж топливного блока ВТГР.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицына Любовь Юрьевна, доцент ОСГН
Социальная ответственность	Передерин Юрий Владимирович, доцент ОЯТЦ

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Беденко Сергей Владимирович	к.ф.-м.н		

Консультант:

Ассистент ОЯТЦ	Кнышев Владимир Владимирович			
----------------	------------------------------	--	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Пасько Дмитрий Вячеславович		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки: 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ): Отделение ядерно-топливного цикла

Период выполнения Весенний семестр 2022/2023 учебного года

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А93	Пасько Дмитрию Вячеславовичу

Тема работы:

Управление критичностью реакторной установки ВТГР с композитным дисперсионным ядерным топливом
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.02.2023	1. Составление технического задания и выбор направления исследований	
15.02.2023	2. Подбор и изучение материалов по теме	
19.04.2023	3. Проведение теоретических расчётов и обоснований	
25.04.2023	4. Анализ и обработка полученных результатов	
23.05.2023	5. Оформление выполненной работы	
26.05.2023	6. Подготовка к защите	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Беденко Сергей Владимирович	к.ф.-м.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	Кнышев Владимир Владимирович			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОЯТЦ	Селиваникова Ольга Валерьевна			

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Пасько Дмитрий Вячеславович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 89 страниц, 13 рисунков, 26 таблиц, 42 источника, 1 чертеж, 1 спецификацию.

Ключевые слова: высокотемпературный газоохлаждаемый ядерный реактор, нейтронно-физический расчёт, программный комплекс WIMS, система управления и защиты реактора, выгорающий поглотитель, трифторид бора, карбид бора, диборид циркония.

Объект исследования является комплексная система управления и защиты реакторной установки типа ВТГР.

Цель работы – создание комплексной системы управления и защиты реактора типа ВТГР с учетом выгорающих поглотителей и дополнительного метода регулирования критичностью в виде газообразного соединения бора.

В процессе исследования проводился выбор основного поглощающего материала для системы управления и защиты, рассмотрено размещение компенсирующих элементов, произведена оценка расстояния между органами СУЗ, рассмотрено применение выгорающего поглотителя в виде покрытия на топливные таблетки, а также трифторида бора в качестве дополнительного метода регулирования.

В результате исследования проведён нейтронно-физический расчёт, подобран наиболее эффективный материал в качестве основной защиты реакторной установки в системах управления и защиты реактора, рассмотрено два варианта размещения компенсирующих стержней в ядерном реакторе, проведен расчет веса стержня в центральной части активной зоны различной толщины, рассмотрено применение выгорающего поглотителя в виде покрытия тонкого слоя на поверхность топливной таблетки, проведена оценка оптимального расстояния между органами СУЗ, рассмотрены возможности применения BF_3 в качестве дополнительной аварийной защиты ВТГР, на случай частичного или полного отказа работы аварийной защиты.

Областью применения является ядерная энергетика.

Обозначения и сокращения

MCU – Monte Carlo Universal;

WIMS – Winfrith Improved Multigroup Scheme;

АЗ – аварийная защита;

АС – аварийная ситуация;

АЭС – атомная электростанция;

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ВДУ – временные допустимые уровни;

ВКВ – верхний концевой выключатель;

ВП – выгорающий поглотитель;

ВПС – вероятность первых столкновений;

ВТГР – высокотемпературный газоохлаждаемый ядерный реактор;

ГТ-МГР – газотурбинный модульный высокотемпературный гелиевый реактор;

КПД – коэффициент полезного действия;

КС – компенсирующий стержень;

НИ – научное исследование;

НКВ – нижний концевой выключатель;

НТИ – научно-техническое исследование;

РО – регулирующий орган;

СУЗ – система управления и защиты;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТТ – топливная таблетка;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭВМ – электронная вычислительная машина.

Содержание

Реферат	7
Введение.....	11
1 Литературный обзор	14
1.1 Реакторная установка типа ВТГР	14
1.2 Композитное топливо для ВТГР.....	15
1.3 Система управления и защиты реактора	18
1.4 Выгорающий поглотитель.....	21
2 Нейтронно-физический расчет	22
2.1 Исходные данные для проведения расчета	22
2.1.1 Характеристики микротвэла и топливной таблетки	22
2.1.2 Характеристики топливного блока и активной зоны	23
2.2 Система управления и защиты реактора	25
2.2.1 Программный комплекс WIMS	25
2.2.2 Выбор поглощающего материала.....	27
2.2.3 Размещение компенсирующих элементов.....	29
2.2.4 Расчет эффективности одного стержня СУЗ.....	32
2.2.5 Оценка расстояния между органами СУЗ	33
2.2.6 Выгорающий поглотитель в виде покрытия на топливные таблетки ...	35
2.2.7 Трифторид бора в качестве дополнительного метода регулирования ...	36
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 40	
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	40
3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	40
3.1.2 Анализ конкурентных технических решений	42
3.1.3 SWOT-анализ.....	43
3.2 Планирование работ по научно-техническому исследованию	46
3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	46

3.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	47
3.2.3	Разработка графика проведения научного исследования	48
3.3	Бюджет научно-технического исследования	51
3.3.1	Расчет материальных затрат НТИ	51
3.3.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ	53
3.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы.....	53
3.3.4	Дополнительная заработная плата	56
3.3.5	Отчисления во внебюджетные фонды	57
3.3.6	Накладные расходы.....	57
3.3.7	Формирование бюджета затрат НТИ	58
3.4	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	59
3.5	Выводы по разделу «Финансовый менеджмент»	62
4	Социальная ответственность	64
4.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов	64
4.2	Микроклимат	66
4.3	Шум	68
4.4	Освещенность	69
4.5	Электромагнитные поля	71
4.6	Электробезопасность	72
4.7	Пожаровзрывобезопасность.....	74
4.8	Радиационная безопасность	76
4.9	Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях	77
4.10	Выводы по разделу «Социальная ответственность»	79
	Заключение	80
	Список использованных источников	83
	Приложение А	88

Введение

Развитие атомной энергетики стало перспективным решением в промышленной отрасли, так как обладает отличительными особенностями в сравнении с другими видами энергоисточников. Отсутствует загрязнение атмосферы в процессе получения энергии в результате управляемых ядерных реакций, не происходит выделение парниковых газов, а также загрязнение воды.

Важнейшей особенностью является многозадачность ядерной отрасли, так как использовать ресурсы ядерного реактора можно не только для выработки тепла и электричества, а также для наработки различных изотопов, ядерного легирования, производства радиофармпрепаратов и т.д.

Атомные электростанции (АЭС) можно отнести к безопасным и надежным установкам. Безопасность атомной энергетики также определяет конкурентоспособность в сравнении с другими видами производства электроэнергии. Безусловно, остается проблема аварий на АЭС, которые могут иметь непоправимые последствия, что вызывает страх и негативно влияет на общественное мнение.

Получение энергии из ядерного топлива совмещает надежность и безопасность на всех этапах производства, это объясняется большим количеством требований к функциям нормальной эксплуатации на АЭС. Несмотря на возможные риски, ядерная энергетика, как и другие источники «чистой энергии», способствует экономическому росту, а также является устойчивой к изменению климата и стабильной.

Наиболее перспективными высокотемпературными ядерными энергетическими установками являются высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВТГР). Реакторной установке типа ВТГР присуща возможность нагрева теплоносителя на выходе из активной зоны до 1000 °С. Данные высокие температуры позволяют использовать ВТГР для многоцелевых задач, одной из которых является производство водорода.

Возможность получения высокотемпературного тепла в сочетании с высоким уровнем безопасности и экологичности ВТГР позволяет в должной мере создать комплексное энергоснабжение электричеством и теплом.

Актуальностью работы является повышение уровня безопасности при эксплуатации реактора типа ВТГР в силу возможных аварийных ситуаций. В связи с этим рассматривается подбор наиболее эффективных материалов в качестве основной защиты реакторной установки с учетом доступности, низкой стоимости, а также минимальных затрат материалов поглотителей. Кроме того, исследуется возможность дополнительного метода регулирования реакторной установки с помощью газообразного соединения – трифторида бора, который будет использоваться для компенсации избыточной реактивности, а также являться дополнительной защитой в случае отказа работы основной аварийной защиты установки.

Целью данной работы является создание комплексной системы управления и защиты реактора типа ВТГР с учетом выгорающих поглотителей и дополнительного метода регулирования критичностью в виде газообразного соединения бора.

Для достижения цели необходимо произвести решить следующие задачи:

- проанализировать спектр потока нейтронов реактора ВТГР;
- подобрать наиболее эффективные материалы в качестве основной защиты реакторной установки с учетом доступности, низкой стоимости, а также минимальных затрат материалов поглотителей в системах управления и защиты реактора (СУЗ) и выгорающих поглотителях;
- составить возможную схему размещения СУЗ в реакторной установке ВТГР, оценить вес компенсирующего стержня и оптимальное расстояние между органами регулирования;
- проанализировать эффективность применения трифторида бора (BF_3) в качестве дополнительного метода регулирования и аварийной защиты установки.

Новизна заключается в исследовании возможности и эффективности применения BF_3 в качестве поглощающего материала в теплоносителе и применении его обогащенного варианта в качестве дополнительной аварийной защиты для рассматриваемой реакторной установки. Применение данного газообразного поглотителя позволит упростить управление критичностью установки и, соответственно, повысить безопасность самой установки.

В данной работе для проведения исследования применяемых материалов в системах СУЗ и выгорающих поглотителях, эффективности применения трифторида бора в качестве дополнительного метода регулирования использовались различные методы, физико-математические модели и программные комплексы. Для проведения нейтронно-физических расчетов использовался программный комплекс WIMS на основе оцененной базы ядерных данных ENDF/B-VII.0. Обработка результатов моделирования проводилась с помощью программных пакетов OriginLab и Microsoft Excel.

Результаты выпускной квалификационной работы докладывались на международных конференциях и конкурсах:

- 57-ая Международная научная студенческая конференция МНСК-2019, г. Новосибирск, 2019 год;
- XXIX Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов-2022», МГУ, г. Москва, 2022 год;
- XI Международная научно-практической конференции Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине, ТПУ, г. Томск, 2022 год;
- VI Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов вузов России по естественным, техническим и гуманитарным наукам «Шаг в науку», г. Томск, 2022 год;
- Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ школьников и студентов «Применение современных физико-технических знаний», г. Томск, 2022 год.

1 Литературный обзор

1.1 Реакторная установка типа ВТГР

В современной энергетике атомные станции играют значительную роль в производстве электроэнергии.

Концепция развития маломощных ядерно-энергетических установок рассматривалась как перспективное с самого зарождения атомной энергетики. Направление высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов было признано как одно из шести инновационных проектов реакторных установок 4-го поколения на интернациональном научном форуме «Generation IV» в 2014 году [1].

ВТГР относится к реакторам модульного типа, теплоносителем данной установки является гелий – химически инертный газ, который не вступает в химические реакции с топливом и конструкционными материалами, под воздействием нейтронного излучения отсутствует проблема активации, а также при его использовании отсутствуют проблемы, связанные с фазовыми превращениями. В качестве основного конструкционного материала, замедлителя и отражателя используется графит, выбранный, исходя из хороших теплофизических характеристик в совокупности с механической прочностью при рабочих температурах реакторной установки.

Как показывают проведенные исследования, в мире высокотемпературные газоохлаждаемые реакторные установки оказывают минимальное влияние на окружающую среду, обладают достаточно экономичным топливным циклом в совокупности с применением инертного газа в качестве теплоносителя, что определяет их высокий уровень радиационной безопасности, а также удовлетворяет высоким требованиям ядерной безопасности [2].

Энергоблок данной энергетической установки позволяет получить коэффициент полезного действия (КПД) 50 % при применении газовой турбины.

Высокотемпературный газоохлаждаемый ядерный реактор обладает высоким уровнем ядерной безопасности, благодаря особенностям конструктивных элементов и материалов активной зоны:

- активная зона рассматриваемой установки состоит в основном из графита, следовательно, расплавление активной зоны маловероятно, так как графит имеет температуру сублимации 3600 °С;

- высокая теплоемкость активной зоны позволяет добиться отсутствия резкого возрастания температуры при возможной потере теплоносителя;

- самопроизвольное увеличение мощности маловероятно в связи с тем, что ВТГР обладает высоким отрицательным температурным коэффициентом реактивности;

- благодаря конструкции силового корпуса ядерного реактора производится постоянный мониторинг утечки теплоносителя, что позволяет предотвратить его потерю.

Исходя из вышеперечисленных фактов, в ядерной установке типа ВТГР при различных возможных аварийных ситуациях обеспечивается низкий уровень повреждения активной зоны, что позволяет рассматривать возможность размещения таких энергоисточников рядом с жилыми массивами и предприятиями, что также способствует снижению потерь при транспортировке высокотемпературного тепла. В настоящее время разрабатываются проекты данных установок во Франции, ЮАР и Нидерландах [3].

1.2 Композитное топливо для ВТГР

Композитное топливо – многокомпонентное топливо, изготовленное из двух или более компонентов. Первоначальная идея топливных частиц с покрытием была предложена Р. Хаддлом в 1957 г. С тех пор во всем мире

разрабатываются, производятся и используются различные формы топливных частиц с покрытием.

Одним из преимуществ высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов по сравнению с реакторами на легкой воде является наличие гибкого топливного цикла, который позволяет использовать различные топливные композиции на основе урана, плутония и тория.

В данной реакторной установке целесообразно применять ториевый топливный цикл с наработкой ^{233}U , так как основным материалом активной зоны и теплоносителем ВТГР позволяют добиться благоприятного баланса нейтронов в тепловой области, исходя из того, что не обладают высоким сечением захвата тепловых нейтронов, поэтому возможно достигнуть на тепловых нейтронах коэффициента воспроизводства больше единицы [4]. На основе комплекса проведенных исследований добавление в топливную композицию оружейного плутония в качестве основного делящегося материала, способствует высокому значению глубины выгорания по ^{239}Pu (до 90 %) за один цикл [5].

В качестве топлива в ВТГР используются топливные частицы с триизотропным покрытием (TRISO), диспергированные в графитовую матрицу, представленные на рисунке 1.1.

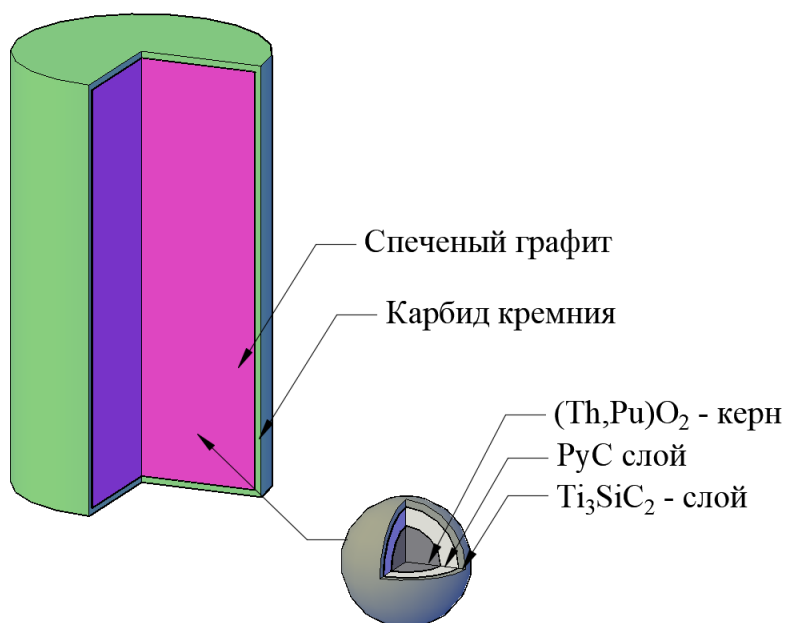
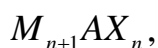


Рисунок 1.1 – Модель топливного элемента ВТГРУ

Микротвэл состоит из трех слоев, где в качестве делящегося материала (топливного ядра) используется ториевое топливо (смесь оксидов тория и плутония $(Th, Pu)O_2$) с массовым содержанием тория и плутония 50/50 %, внутренний слой из высокоплотного пиролитического углерода PuC и слой из карбосилицида титана Ti_3SiC_2 .

Карбосилицид титана относится к наиболее изученному и перспективному соединению из семейства так называемых МАХ-фаз, представляющих собой тройные слоистые соединения, которые несут в себе сочетание свойств, присущих металлам и керамике, что и определяет их технологический интерес, основная запись которых [6]:



где M – ранний переходный d -металл;

A – p -элемент, в основном из 13 или 14 группы;

X – углерод или азот.

Покрытие в виде Ti_3SiC_2 выступает в качестве основного диффузионного барьера для продуктов деления. Данное соединение обладает высокой теплопроводностью, жесткостью в сочетании с низкой плотностью и очень большой стойкостью к повреждениям [7]. Карбосилицид титана сохраняет эти свойства при высоких температурах и проявляет высокую стойкость к окислению и тепловому удару. Характерной особенностью Ti_3SiC_2 является легкость механической обработки, которая делает возможным производство различных сложных компонентов [8].

Частицы с покрытием TRISO обладают способностью удерживать газообразные продукты деления, а также металлические продукты деления при высоких температурах ВТГР. Применение наноламинатных покрытий и новых технологий их нанесения позволяет увеличить глубину выгорания при высоких температурах эксплуатации без сквозных повреждений покрытий.

1.3 Система управления и защиты реактора

Система управления и защиты реактора является неотъемлемой частью реакторной установки, включающая различные комплексы электрооборудования, аппаратуры контроля нейтронного потока и другие технических средства. Схема управления ядерным реактором включает в себя 4 основных системы: систему автоматического регулирования мощности реактора, систему компенсации реактивности, аварийную защиту и пусковую систему. В качестве основных элементов системы регулирования используются различные детекторы и приборы контроля мощности или уровня, а также преобразователи сигналов с блоками питания и регулирующие стержни.

В качестве органов компенсации реактивности практически во всех реакторах используются подвижные поглощающие стержни, которые вводятся в активную зону для поглощения нейтронов. Применение регулирующих стержней позволяет скомпенсировать небольшие флуктуации реактивности в процессе работы реакторной установки. В активной зоне данные стержни находятся постоянно, но их перемещение является ограниченным. Например, канал автоматического регулирования будет выводить реактор на заданный уровень мощности в автоматическом режиме. При разгоне реактора регулирующей орган автоматического регулирования (РО АР) может поддерживать период разгона в течении заданного времени. По достижению заданного уровня мощности стержень РО АР, опускаясь в активную зону, останавливает разгон реактора и продолжает регулирование по мощности, тем самым поддерживая его на необходимом значении.

Чтобы компенсировать большой запас реактивности, который накапливается во время кампании в связи с выгоранием топлива, используются компенсирующие стержни (КС). Введением или выведением компенсирующего стержня можно изменить поглощающие свойства локальной области вокруг него, при этом изменить скорость тепловых

нейтронов, а также распределение плотности их потока по активной зоне. Данные стержни не ограничены по перемещению в активной зоне и их положение варьируется в диапазоне от 0 до 100 % от крайних положений, соответствующих концевым выключателям.

Для компенсации избыточной реактивности, кроме поглощающих стержней, применяются и другие средства, например: подвижные тепловыделяющие сборки (ТВС) (компенсация происходит путем выведения части топлива), изменение уровня замедлителя (в тяжеловодных реакторах), борное регулирование водо-водяных энергетических реакторах (ВВЭР), применение выгорающих поглотителей, изменение состава отражателя [9].

Различные положения подвижного поглотителя по высоте активной зоны представлены на рисунке 1.2.

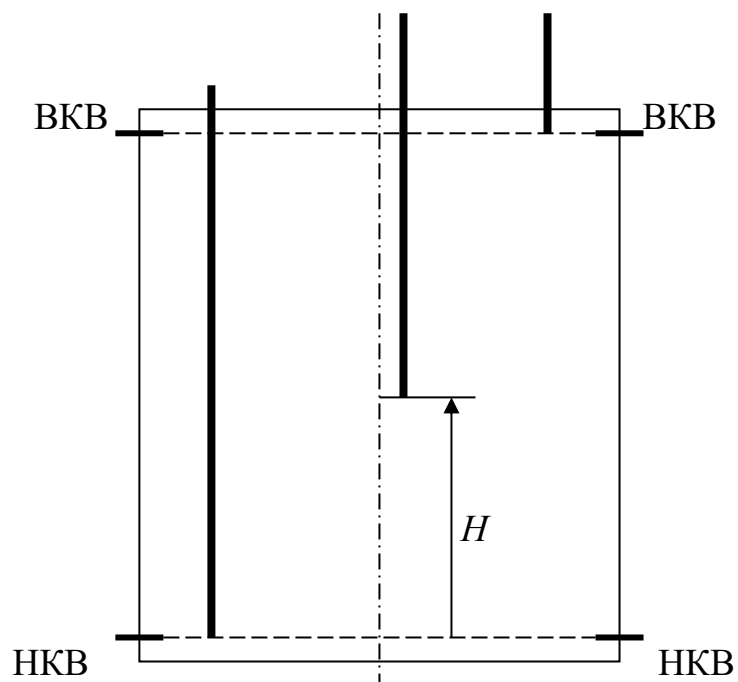
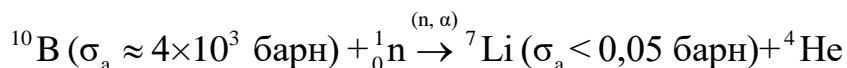


Рисунок 1.2 – Положение поглотителя по высоте активной зоны [10]

В реакторах типа ВВЭР компенсирующие стержни в начале работы практически полностью выводятся из активной зоны, что обеспечивает более равномерное энерговыделение по высоте. Кроме основных стержней управления данный тип реактора отличается применением жидкостного

химического регулирования – борного. В теплоноситель добавляется борная кислота (H_3BO_3) и посредством изменения концентрации данного поглотителя в теплоносителе происходит компенсация медленных эффектов изменения реактивности в данном реакторе.

В качестве материалов с большим сечением поглощения нейтронов для регулирующих стержней применяются бор, кадмий, гафний и др. Пример реакции бора с нейтроном:



Преимущественное применение в стержнях системы управления и защиты в качестве основного поглотителя получило бинарное соединение бора с углеродом – карбид бора (B_4C), обусловлено это его высокими нейтронно-физическими и технологическими свойствами. Данное соединение является тугоплавким, хрупким материалом с высокой термостойкостью.

B_4C обладает и несколькими недостатками, например, в результате нейтронного облучения происходит искажение кристаллической решетки, которое можно частично избежать, используя отжиг при температуре ~ 700 °С. При взаимодействии бора с нейтроном происходит внедрение атомов гелия, которое также способно вызвать нарушение кристаллической решетки в результате накопления его в порах при высокой температуре, что может привести к локальному увеличению давления – возникновению местных напряжений и трещин. Присутствие лития в борсодержащем материале ухудшает его коррозионные свойства в результате активного реагирования с водой [11].

Стержни аварийной защиты (АЗ) предназначены для быстрой остановки реактора путем их полного сброса в активную зону при условии недопустимого отклонения параметров реактора от заданных значений в случаях, когда развитие процесса может привести к аварийной ситуации. Данные стержни всегда находятся в крайнем верхнем положении и используются только в случае срабатывания аварийного сигнала. Время ввода стержней АЗ в активную зону варьируется от 0,1 до 0,4 с.

1.4 Выгорающий поглотитель

Выгорающий поглотитель (ВП) – поглотитель нейтронов, который расходуется в процессе эксплуатации реактора. Поглотителями являются ядра, наиболее склонные к радиационному захвату. ВП вводятся в определенные места реактора однажды (в процессе перегрузки топлива) и не перемещаются в течение всей кампании реактора.

Основная цель применения выгорающих поглотителей – компенсация избыточной реактивности. Компенсация избыточной реактивности только лишь стержнями усложняет проектирование установки и создает неравномерности нейтронного поля по активной зоне. В то же время введение их в реактор не должно приводить к уменьшению кампании реактора, для этого необходимо подобрать такую скорость выгорания, чтобы реакторная установка находилась в критике в любой момент времени, при этом к концу кампании поглотитель должен практически полностью выгореть. Скорость выгорания определяется материалом поглотителя, а именно его сечением поглощения нейтронов и способами его размещения в активной зоне [12].

ВП не должен обладать слишком большим сечением поглощения, чтобы поглотитель не выгорел практически полностью за время, существенно меньшее кампании реактора. После поглощения нейтрона он должен превратиться в изотоп с малым сечением поглощения, намного меньшим, чем у изначального изотопа ВП. Это условие практически невыполнимо в области энергий быстрых нейтронов, где сечения поглощения различных изотопов соизмеримы, поэтому эффективное применение выгорающих поглотителей возможно только в реакторах на тепловых нейтронах.

Количество нуклидов, пригодных на роль выгорающего поглотителя, весьма ограничено (бор, европий, гадолиний и некоторые другие). Часто используются сплавы и химические соединения, содержащие бор (природный или обогащенный изотоп ^{10}B) [12].

2 Нейтронно-физический расчет

2.1 Исходные данные для проведения расчета

2.1.1 Характеристики микровэла и топливной таблетки

Микровэл представляет собой сферический топливный керн диаметром 600 мкм, покрытый последовательными слоями PuC и Ti_3SiC_2 . Микровэл диспергирован в топливную таблетку (ТТ), сделанную в виде цилиндра с нанесением дополнительного защитного покрытия на цилиндрической поверхности из карбида кремния SiC .

Внешний вид ТТ и микровэла изображен на рисунке 2.1, а геометрические характеристики представлены в таблице 2.1.

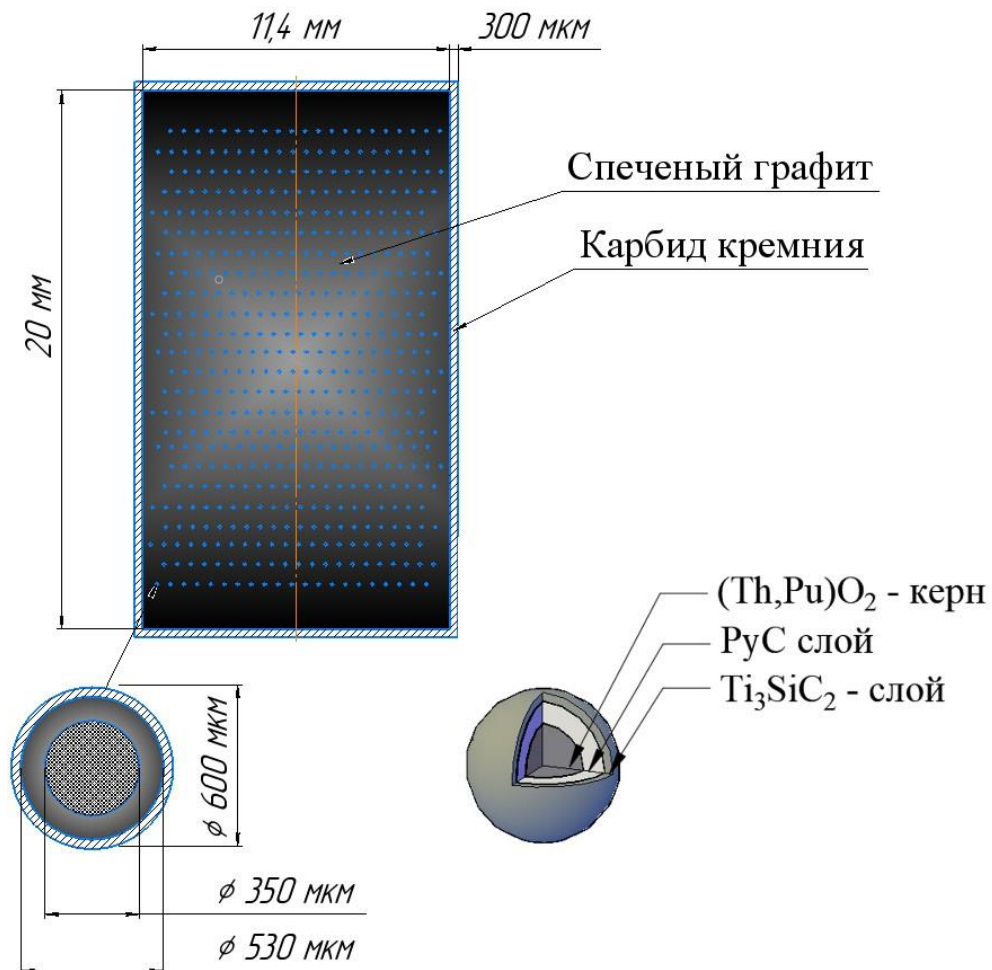


Рисунок 2.1 – Модель топливной таблетки и микровэла

Таблица 2.1 Геометрические характеристики ТТ и микротвэла

Топливная таблетка		Микротвэл	
Характеристика	Значение	Характеристика	Значение
Высота, мм	20,6	Радиус (Th,Pu)O ₂ , мкм	175
Диаметр, мм	12	Толщина покрытия RuC, мкм	90
Толщина покрытия SiC, мм	0,3	Толщина покрытия Ti ₃ SiC ₂ , мкм	35

2.1.2 Характеристики топливного блока и активной зоны

Топливный блок представляет собой шестигранную графитовую призму, в которой имеются отверстия для топливных элементов и прохода гелиевого теплоносителя.

Модель топливного блока изображена на рисунке 2.2, а основные характеристики указаны в таблице 2.2.

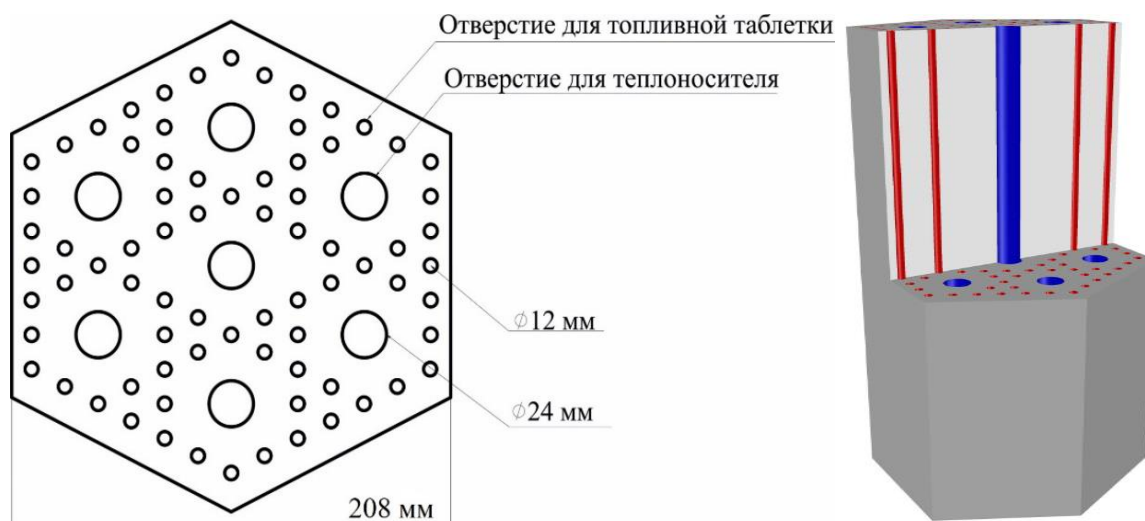


Рисунок 2.2 – Модель топливного блока ВТГР

Таблица 2.2 Геометрические характеристики топливного блока

Характеристика	Значение
Размер под ключ, см	20,8
Число каналов под ТТ, шт	76
Число каналов под теплоноситель, шт	7

Продолжение таблицы 2.2

Характеристика	Значение
Диаметр канала под ТТ, см	1,2
Диаметр канала с теплоносителем, см	2,4
Высота, см	80

Активная зона содержит 127 топливных колонн, каждая из которых в высоту состоит из 3 топливных блоков.

Модель активной зоны изображена на рисунке 2.3, а основные характеристики указаны в таблице 2.3.

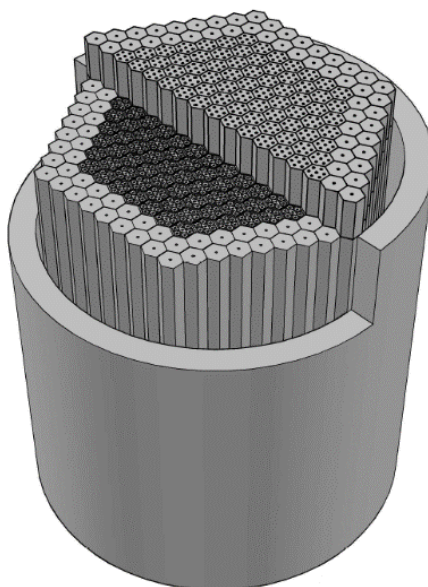


Рисунок 2.3 – 3D Модель активной зоны с отражателями реактора ВТГР

Таблица 2.3 Характеристики реактора

Характеристика	Значение
Тепловая мощность, МВт	150
Температура теплоносителя на выходе из активной зоны, °С	~1000
Активная зона без отражателя	
Диаметр, см	270,4
Высота, см	240
Объем активной зоны, см ³	$1,32 \cdot 10^7$

2.2 Система управления и защиты реактора

2.2.1 Программный комплекс WIMS

Для проведения нейтронно-физических расчетов использовался программный комплекс Winfrith improved multigroup scheme (WIMS). WIMS – это программа для проектирования реакторов, расчета элементарной ячейки, тепловых и быстрых спектров реакторных установок, а также для анализа различных эффектов в существующих реакторах, написанная на языке ФОРТРАН [13]. В программе используется универсальная 69-групповая библиотека констант [14], подготовленная на основе файлов оцененных нейтронных данных (ENDF, JEF, JENDL) в ГИЦ РФ ФЭИ.

В основе программного комплекса WIMS лежит решение уравнения Больцмана (уравнение переноса), так как данное уравнение лежит в основе всей физики реакторов. Уравнение Больцмана в интегрально-дифференциальной форме:

$$\frac{1}{V} \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \bar{\Omega} \nabla \Phi + \Sigma_t \Phi = \iint \Sigma'_s \Phi' dE' d\bar{\Omega}' + \chi \iint \nu \Sigma'_f \Phi' dE' d\bar{\Omega}' + Q,$$

где V – объём активной зоны, см³;

Φ – плотность потока нейтронов, см⁻² · с⁻¹;

t – время, с;

Ω – телесный угол, град;

Σ_t – полное макроскопическое сечение взаимодействия, см⁻¹;

Σ'_s – макроскопическое сечение рассеяния, см⁻¹;

E' – кинетическая энергия нейтрона, эВ;

χ – доля нейтронов спектра деления;

ν – среднее число нейтронов, образующихся в одном акте деления;

Σ'_f – макроскопическое сечение деления, см⁻¹;

Q – функция внешнего нейтронного источника.

Решение обеспечивается либо методом Карлсона DSN, либо методами вероятности столкновения.

Метод вероятностей первых столкновений (ВПС) является одним из основных методов расчета ячеек реакторов. К главным достоинствам метода ВПС относятся его простота реализации, быстрое действие, возможность рассчитывать системы со сложной геометрией, способность корректно описывать системы с черными и прозрачными зонами [15].

Метод Карлсона DSN основан на том, что угловая переменная плотности потока нейтронов считается дискретной величиной, то есть угловое распределение оценивается в различных дискретных направлениях. Исходя из этого, варьируя рассматриваемое количество направлений, можно получить решение уравнения Больцмана с заданной степенью точности [16].

Реальная ячейка реактора, выполненная в виде шестиугольника, заменяется эквивалентной двумерной цилиндрической ячейкой Вигнера-Зейтца с заданными граничными условиями на поверхности расчетной зоны, поскольку в геометрическом модуле программы WIMS нельзя создавать ячейки шестигранной формы.

Эквивалентная цилиндрическая ячейка рассматриваемой реакторной установки представлена на рисунке 2.4.

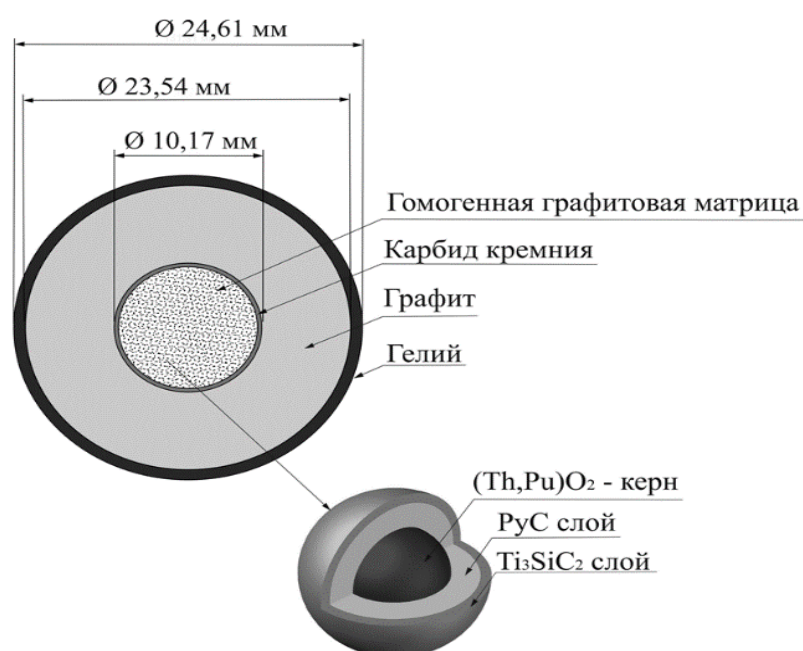


Рисунок 2.4 – Двумерная модель ячейки ВТГРУ

2.2.2 Выбор поглощающего материала

Для реакторных установок типа ВТГР в качестве поглощающих материалов могут использоваться различные соединения (B_4C -SiC, $Dy_2O_3TiO_2$, CrB_2+Al , Gd_2O_3 , ZrB_2 , AgInCd, $Mo+Eu_2O_3$, Hf-Zr и т.д.).

Для эффективного подбора материала для поглощающих стержней был проведен расчет спектра потока нейтронов в активной зоне рассматриваемой реакторной установки.

Результаты расчета представлены на рисунке 2.5.

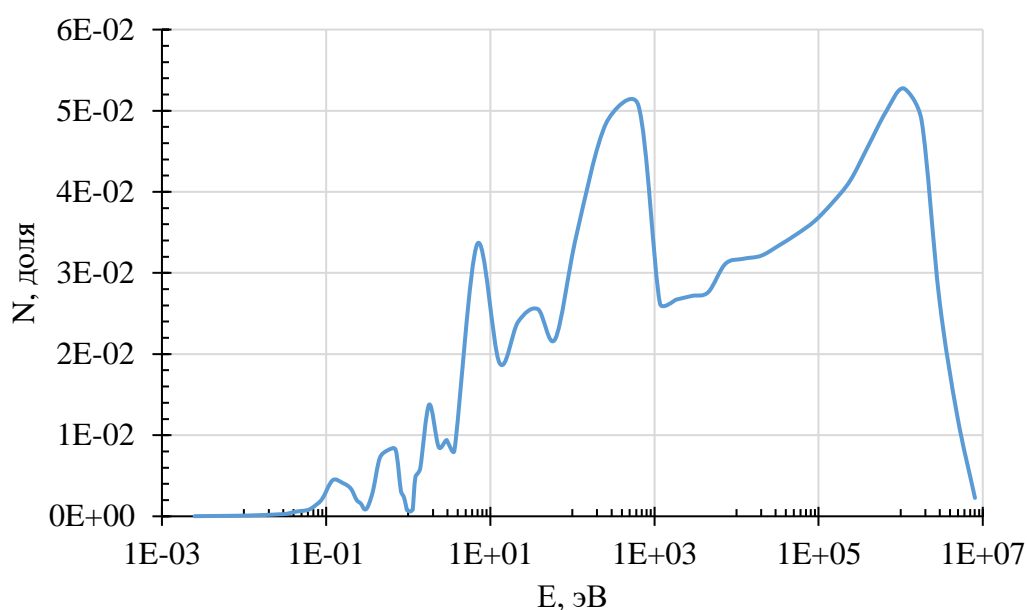


Рисунок 2.5 – Спектр потока нейтронов в активной зоне

Полученный спектр потока нейтронов показывает, что в активной зоне рассматриваемой установки подавляющее большинство – это эпитепловые и быстрые нейтроны. В связи с особенностью данного спектра наиболее эффективными по поглощению нейтронов будут бор, гадолиний и европий содержащие материалы. Эти материалы характеризуются высоким сечением поглощения нейтронов в широком диапазоне энергий, доступностью и относительно низкой стоимостью.

В качестве основных поглощающих материалов были рассмотрены материалы и соединения, содержащие изотопы ^{10}B , ^{157}Gd , ^{155}Gd , ^{153}Eu , ^{151}Eu , имеющие высокие сечения поглощения нейтронов. Чтобы оценить влияние

каждого из изотопов, необходимо провести расчет изменения плотности потока нейтронов для каждого материала.

Расчет изменения $d\Phi_i$ для каждого изотопа определялось по следующей формуле:

$$d\Phi_i = (\Phi_0 - \Phi_i) / \Phi_0,$$

где Φ_0 – плотность потока нейтронов до введения поглощающего материала в активную зону, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$;

Φ_i – плотность потока нейтронов после введения поглощающего материала в активную зону, $\text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Результаты проведенного расчёта для каждого из рассматриваемых изотопов представлены на рисунке 2.6.

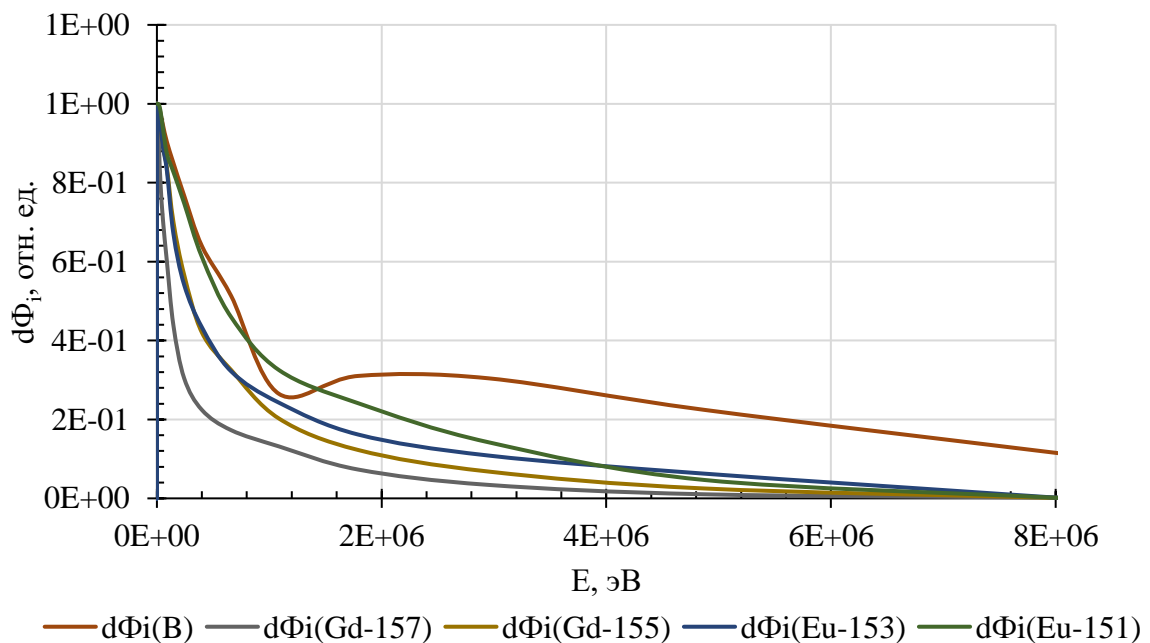


Рисунок 2.6 – Относительное изменение плотности потока i -ой группы 69-ти группового спектра для каждого изотопа

Исходя из результатов, полученных при расчете относительного изменения плотности потоков для ^{10}B , ^{157}Gd , ^{155}Gd , ^{153}Eu , ^{151}Eu , наибольшее влияние оказывает изотоп бор-10. В области быстрых нейтронов ($E > 100$ кэВ) бор имеет более высокое сечение поглощения, что дает возможность

скомпенсировать избыточную реактивность с наименьшими затратами материалов поглотителей.

Таким образом, в качестве материала СУЗ для реактора ВТГР был выбран борсодержащий материал. Из существующих борсодержащих соединений, используемых в качестве материала СУЗ, в данной системе наиболее подходящим будет использование карбида бора (B_4C).

Карбид бора обладает хорошими нейтронно-физическими показателями в качестве материала СУЗ, также его широко применяют во всех типах реакторных установок с добавлениями различных материалов. Данное соединение обладает такими уникальными свойствами, как сверхтвердость в сочетании с низкой плотностью, высокая термостойкость и высокая температура плавления (около $2350\text{ }^{\circ}C$), низкая теплопроводность, а также химическая и радиационная стойкость.

2.2.3 Размещение компенсирующих элементов

Размещение компенсирующих стержней в ядерном реакторе существенно влияет на его характеристики. Систему регулирующих стержней необходимо спроектировать так, чтобы минимизировать искажающее влияние на распределение мощности реакторной установки.

Основные положения при размещении органов СУЗ в активной зоне реактора:

- органы СУЗ следует располагать ближе к центру активной зоны установки, это необходимо для увеличения эффективности и уменьшения потерь в воспроизводстве ядерного топлива;
- симметричное расположение органов СУЗ в активной зоне позволит обеспечить лучшее радиальное выравнивание поля энерговыделения;
- необходимо соблюдать достаточное расстояние между органами СУЗ в активной зоне ядерного реактора, так как при несоблюдении этого

требования эффективность каждого органа существенно уменьшается из-за появления значительной интерференции.

На рисунке 2.7 представлена конструкция топливного канала из нержавеющей стали 10ХН45Ю, которая применяется в качестве защиты органов СУЗ от воздействия теплоносителя, так как в активной зоне скорость прокачки теплоносителя достигает более 50 м/с, что будет создавать сильные вибрации, которые могут привести к разрушению поглощающих стержней.

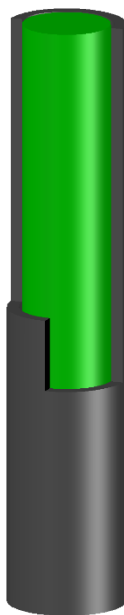


Рисунок 2.7 – Канал под компенсирующий стержень в реакторе ВТГР

В канал с теплоносителем топливного блока размещается одна полая трубка из нержавеющей стали и закрепляется с обоих концов. Внутри пространство для размещения и движения стержня во время кампании.

С учетом всех требований рассматривается два возможных варианта размещения компенсирующих стержней в активной зоне:

- размещение КС в канале теплоносителя;
- размещение КС в топливном канале.

Рассмотрим первый возможный вариант размещения компенсирующих элементов в активной зоне. Размещение КС в канале теплоносителя представлено на рисунке 2.8

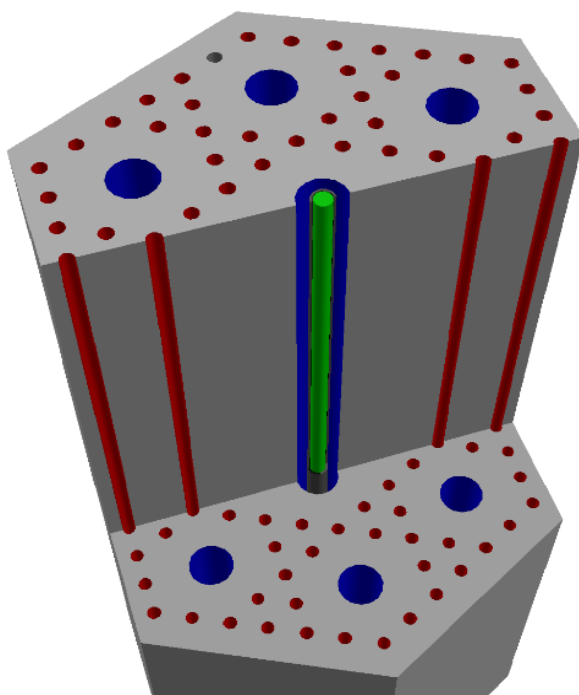


Рисунок 2.8 – Модель размещения подвижного КС в канале теплоносителя

Размещение в канале теплоносителя компенсирующего стержня приводит к уменьшению эффективности теплоотвода с поверхности топливных элементов, что может привести к повышению тепловой нагрузки на топливные блоки. В результате это может привести к разрушению топливных элементов и высвобождению продуктов деления в теплоноситель.

Второй вариант представляет собой размещение КС в топливном канале с увеличением самого канала под КС. Предусмотрен зазор между КС и стенками канала, который позволяет учесть тепловое расширение материалов при высокой температуре эксплуатации (1100-1300 °С), а также накопление продуктов реакции поглощения нейтронов ^{10}B . Такая конструкция необходима для избегания застревания КС в графитовом блоке.

Размещение КС в топливных каналах представлено на рисунке 2.9.

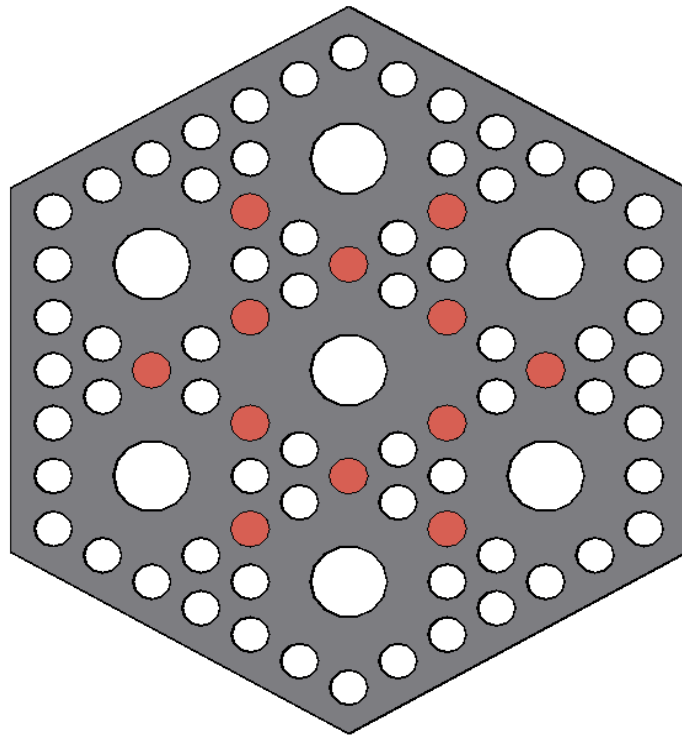


Рисунок 2.9 – Схема размещения СУЗ в топливные каналы

Данное размещение определяется наименьшими затратами на материалы и характером распределения плотности потока нейтронов. Предусмотренный зазор толщиной в $1,65 \cdot 10^{-3}$ м позволит учесть тепловое расширение материалов при температуре эксплуатации реакторной установки, накопление продуктов реакции поглощения нейтронов ^{10}B и избежать застревания КС в канале.

2.2.4 Расчет эффективности одного стержня СУЗ

Далее был проведен расчет веса стержня в данной системе без учета выгорающего поглотителя с помощью программы WIMS-D5B (ENDF/B_VII.0).

Компенсирующий стержень размещается в центральной части активной зоны различной толщины из ранее выбранного материала – карбида бора для сравнения эффективности проведен расчет для материалов из оксидов гадолиния (Gd_2O_3) и европия (Eu_2O_3).

Расчет эффективности проводился по соотношению:

$$\Delta k = k_{эф} - k_{эф.ст.},$$

где $k_{эф.ст.}$ – эффективный коэффициент размножения нейтронов со стержнем.

Результаты расчета веса одного стержня приставлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчета веса одного стержня СУЗ

Диаметр, м	Материал	$k_{эф}$ начальное	$k_{эф}$ со стержнем	ρ системы	$d\rho$ (вес одного стержня)
0,03	B ₄ C	1,38466	1,38278	0,27682	0,00098
	Gd ₂ O ₃	1,38466	1,38299	0,27693	0,00087
	Eu ₂ O ₃	1,38466	1,38321	0,27704	0,00076
0,05	B ₄ C	1,38466	1,38174	0,27627	0,00152
	Gd ₂ O ₃	1,38466	1,38215	0,27649	0,00131
	Eu ₂ O ₃	1,38466	1,38220	0,27652	0,00128

Исходя из полученного результата, B₄C наиболее эффективен в данной системе в качестве материала органов СУЗ, что позволит скомпенсировать избыточную реактивность с наименьшими затратами материалов поглотителей.

2.2.5 Оценка расстояния между органами СУЗ

Для эффективного размещения СУЗ в активной зоне рассматриваемой реакторной установки, необходимо учитывать эффект интерференции стержней СУЗ и ввиду этого необходимо выбрать оптимальное расстояние между органами СУЗ.

Интерференция поглотителей – это явление взаимного влияния различных поглотителей на характеристики друг друга. Интерференция физически объясняется тем, что каждый из вводимых в активную зону поглотителей по-своему изменяет нейтронное поле в ней.

Физический вес группы стержней-поглотителей отличается от суммы индивидуальных физических весов этих стержней:

$$\rho_{gp} \neq \sum_{i=1}^m \rho_i.$$

Величина отношения физического веса группы стержней-поглотителей к сумме их индивидуальных физических весов называется коэффициентом интерференции:

$$C = \frac{\rho_{gp}}{\sum_{i=1}^m \rho_i}.$$

В течение кампании реактора необходимо периодически производить уточнение эффективности органов регулирования, так как происходит выгорание поглощающего материала, с дальнейшим падением эффективности компенсирующего стержня.

Приблизительное оптимальное расстояние между органами СУЗ можно определить по длине миграции нейтронов в активной зоне. Используя макроконстанты, рассчитываемые программным комплексом WIMS, определяем длину миграции нейтронов.

Результаты расчета длины миграции нейтронов указаны в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результат расчета длины миграции нейтронов

Величина	Обозначение	Значение	Единицы измерения
Квадрат длины диффузии нейтронов	L^2	$1,773 \cdot 10^2$	см^2
Возраст нейтронов	τ	$2,998 \cdot 10^2$	см^2
Площадь миграции нейтронов	M^2	$4,772 \cdot 10^2$	см^2
Длина миграции нейтронов	M	$2,184 \cdot 10^1$	см

Исходя из результатов расчета длины миграции нейтронов, оптимальное расстояние между органами СУЗ будет от 20 см.

2.2.6 Выгорающий поглотитель в виде покрытия на топливные таблетки

В газотурбинном модульном высокотемпературном гелиевом реакторе (ГТ-МГР), который основан на базе ВТГР, топливный блок представляет собой аналогичную по конструкции графитовую шестигранную призму с отверстиями, однако отличается данная схема дополнительными отверстиями под твёрдый выгорающий поглотитель. Чтобы упростить устоявшуюся схему, а также уменьшить количество твердотельного поглотителя в активной зоне, рассматривается нанесение тонкого слоя выгорающего поглотителя на поверхность топливной таблетки.

На основе полученного спектра в качестве ВП рассматривались борсодержащие материалы: В, ВN, В₄С, ZrВ₂ в виде покрытия на поверхность топливной таблетки толщиной до $0,1 \cdot 10^{-3}$ м.

После анализа термомеханических свойств выгорающих поглотителей наиболее применим в качестве ВП для реакторной установки типа ВТГР диборид циркония (ZrВ₂). Данный материал отличается высокими эксплуатационными характеристиками, которые позволяют его использовать при высоких тепловых и ионизирующих нагрузках. Например, в США напыление ZrВ₂ применяется в виде тонкого слоя на топливную таблетку для компенсации избыточной реактивности. В России эта технология пока не нашла применения в атомной энергетике [17].

Нейтронно-физический расчет проводился для различной толщины ВП от $0,015 \cdot 10^{-3}$ м и до $0,1 \cdot 10^{-3}$ м. Увеличение толщины ВП более $0,1 \cdot 10^{-3}$ м не имеет должной эффективности ввиду уменьшения покрытия топливной таблетки из карбида кремния, что уменьшает задерживающую способность данного слоя по отношению к продуктам деления во время эксплуатации. Напыление на все топливные таблетки в рассматриваемой системе позволяют скомпенсировать $\rho=11,4$ %.

2.2.7 Трифторид бора в качестве дополнительного метода регулирования

В качестве дополнительного метода компенсации медленных изменений реактивности в ходе эксплуатации реакторной установки типа ВВЭР используется специальная система борного регулирования, основанная на добавлении борной кислоты ($B(OH)_3$) в теплоноситель [18]. Метод применения жидкостного регулирования в реакторе ВВЭР хорошо себя зарекомендовал, по этому принципу рассматривается возможность применения боросодержащих материалов в теплоносителе для дополнительного метода регулирования реакторной установки ВТГР в случае частичного или полного отказа работы аварийной защиты.

Как было установлено ранее, наибольшее влияние в качестве основного поглощающего изотопа оказывает изотоп бор-10. Рассматривались различные боросодержащие химические соединения, находящиеся в газообразном и стабильном состоянии при температуре эксплуатации модульной реакторной установки ВТГР 1000 °С и давление 5-8 МПа. На основе теории фторидов, которая позволяет спрогнозировать поведение соединения при различном давлении и температуре, наиболее подходящим по данным критериям подходит соединение трифторида бора (BF_3) [19].

Далее были проведены расчеты нейтронно-физических параметров активной зоны рассматриваемой установки с BF_3 в канале теплоносителя при различной объемной доле в активной зоне (объемная доля варьировалась от 1% до 50%), а также при различном обогащении бора по 10 изотопу (обогащение варьируется от 21% до 50%). При создании расчетной модели не использовались твердые компенсирующие элементы или выгорающие поглотители, размещаемые в топливных элементах установки.

Полученные значения изменения запаса реактивности представлены на рисунке 2.9.

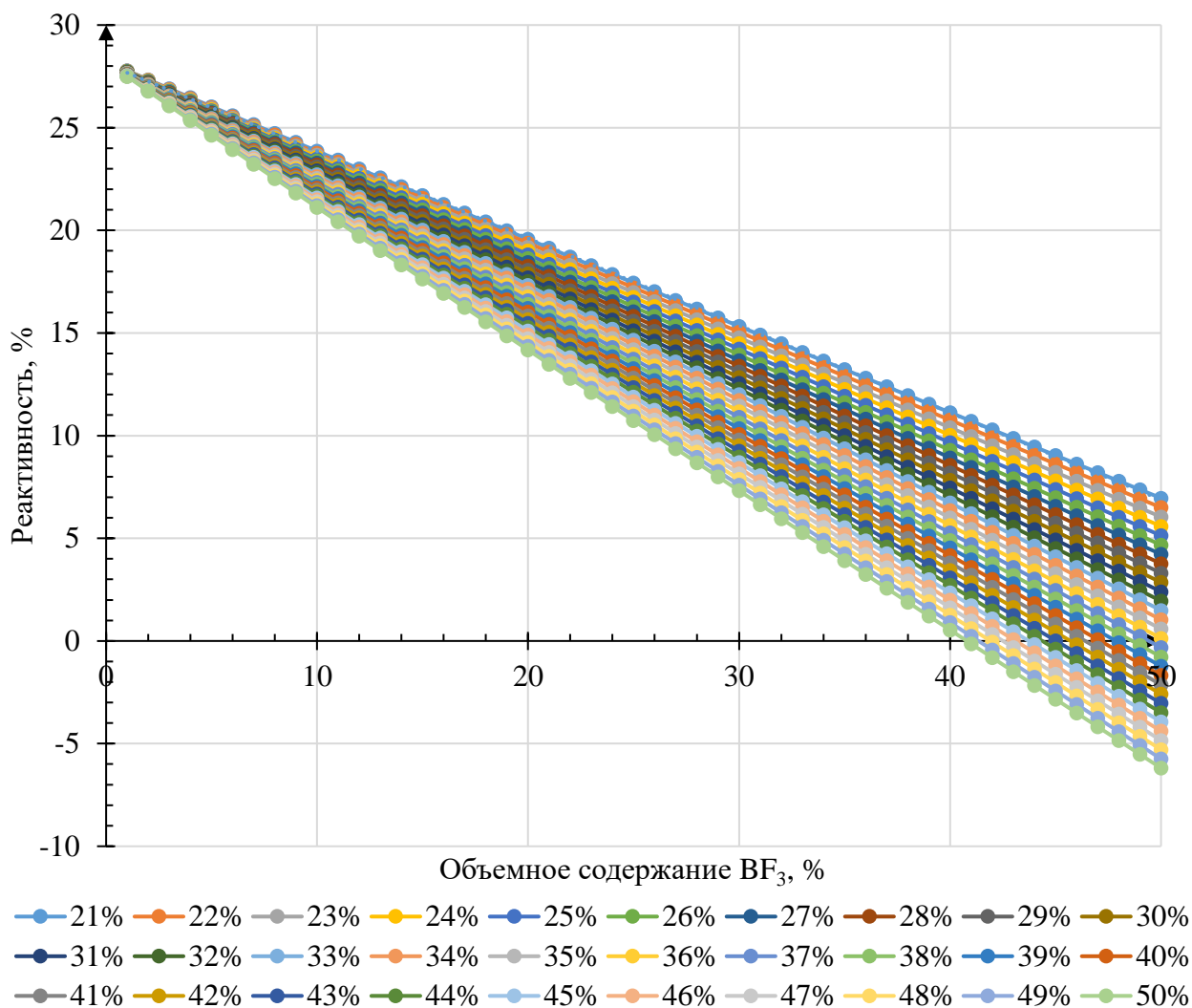


Рисунок 2.10 – Изменение запаса реактивности при различном объемном содержании и обогащении по ^{10}B трифторида бора в канале теплоносителя

Исходя из результатов расчета, можно установить возможное высвобождение реактивности или компенсации при уменьшении или увеличении объемного содержания BF_3 . Применение такого поглощающего материала достаточно эффективно, так как при добавлении обогащенного варианта до 37 % по ^{10}B в соотношении 50/50 % в канал теплоносителя можно скомпенсировать избыточный запас реактивности и при необходимости высвободить его при уменьшении объемного соотношения.

Результаты изменения плотности потока нейтронов на начало кампании реактора при различном объемном содержании и обогащении по ^{10}B трифторида бора в канале теплоносителя представлены на рисунке 2.11.

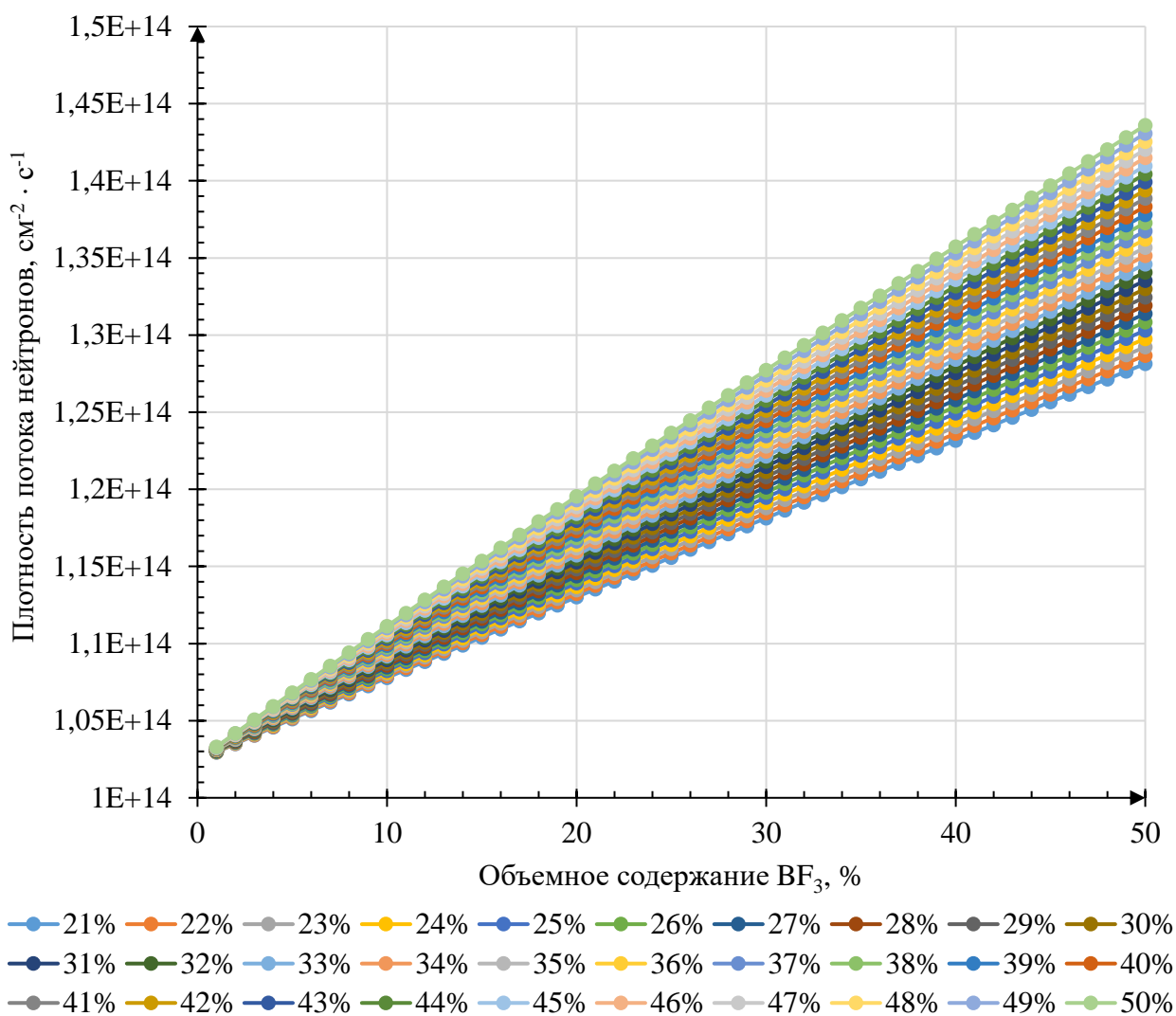


Рисунок 2.11 – Изменение плотности потока нейтронов при различном объемном содержании и обогащении по ^{10}B трифторида бора в канале теплоносителя

Исходя из изменения плотности потока нейтронов на начало кампании реактора, можно установить, что при добавлении BF_3 в канал теплоносителя наблюдается рост первоначального значения плотности потока, данный рост не имеет резкого значения, что говорит о мягком управлении реакторной установки. Наиболее эффективным для компенсации избыточной реактивности является обогащенный вариант BF_3 , из чего можно сделать вывод о возможности его применения в качестве дополнительной аварийной защиты ВТГР на случай частичного или полного отказа работы аварийной защиты.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0A93	Пасько Дмитрию Вячеславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	14.03.02 Ядерные физика и технологии / Ядерные реакторы и энергетические установки

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Бюджет проекта – не более 230000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 130000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Премияльный коэффициент руководителя, доплаты и надбавки 30%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%; Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 4 баллов из 5.</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Рассчитать показатель ресурсоэффективности</i>

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A93	Пасько Дмитрий Вячеславович		

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо провести анализ целевого рынка.

Концепция развития маломощных ядерно-энергетических установок рассматривалась как перспективное с самого зарождения атомной энергетики. Технология ВТГР благодаря уникальным свойствам, а именно способность вырабатывать тепло температурой до 1000 °С и высокий уровень безопасности, открывает широкие возможности по использованию этого типа реактора. Связи с этим появляется большая необходимость в применении данных типов реакторов, а с использованием VF_3 в качестве компенсирующего материала дает возможность управлять реакторной установкой более плавно, а также повысить уровень безопасности в случае аварийных ситуаций на предприятии. В настоящее время разрабатываются проекты данных установок во Франции, ЮАР и Нидерландах.

Исследования, проведенные в нашей стране, и анализ зарубежного опыта показывают, что такие высокотемпературные реакторы с гелиевым теплоносителем лучшим образом удовлетворяют высоким требованиям ядерной и радиационной безопасности, обладают экономичным топливным циклом, а также оказывают минимальное влияние на окружающую среду.

Потенциальными потребителями данных результатов исследования могут быть предприятия, которые связаны с реакторостроением, а также специалисты в области ядерной безопасности. Поэтому целевым рынком исследования будут являться как государственной корпорации атомной отрасли (например, для термохимического производства водорода), так и

различные исследовательские институты (для реализации инновационных топливных циклов). Примером предприятия потребителя является АО “Концерн Росэнергоатом” г. Москва.

В таблице 3.1 представлена карта сегментирования рынка использования высокотемпературного ядерного реактора.

Таблица 3.1 – Карта сегментирования ВТГР

		Реактор ВТГР	
		Атомная промышленность	Научно-исследовательские институты
Потребность	Сильная		
	Средняя		
	Слабая		

Наиболее высокая потребность в реакторных установках на гелиевом теплоносителе существует в атомной энергетической промышленности, поскольку использование данных установок в долгосрочной перспективе решает несколько задач, связанных с:

- замыканием топливного цикла;
- производством водорода (возможно в данном типе реактора с помощью термохимического цикла серо-йод);
- обеспечением электричества и тепла удалённых жилых массивов (более эффективным, чем дизель-электрическая генерация);
- опреснения воды и использования отработанного тепла ВТГР для технологических нужд;
- переработкой уже имеющегося отработавшего топлива (оружейный плутоний).

3.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научного исследования (НИ) [20].

Данный анализ был проведен с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в таблице 3.2. В качестве конкурирующих разработок были приняты K_{Gd} – использование гадолиния 157 (^{157}Gd), K_{Eu} – использование европия 153 (^{153}Eu). Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 3.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_B	B_{Gd}	B_{Eu}	K_B	K_{Gd}	K_{Eu}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Надежность	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
3. Безопасность	0,2	4	5	4	0,8	1	0,8
4. Сложность получения	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
5. Обогащение	0,2	5	4	3	1	0,8	0,3

Продолжение таблицы 3.2

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БВ	БGd	БEu	КВ	KGd	KEu
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Итого	1	38	31	29	4,7	4	3,3

Из данного анализа видно, что применение бора имеет преимущество перед конкурентами, исследование целесообразно, поскольку данный метод очень хорошо себя зарекомендовал в реакторах типа ВВЭР-1000. В теплоноситель добавляется борная кислота (H_3BO_3), которая позволяет компенсировать избыточную реактивность и упрощает управление установкой. По этому принципу применение трифторида бора позволит более плавно управлять критичностью реакторной установки и уменьшить количество применяемого твердого компенсирующего материала в активной зоне ВТГР, что увеличивает будущую перспективность данной ядерной энергетической установки при применении данной поглощающей композиции.

3.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – (strengths, weaknesses, opportunities, threats – сильные стороны, слабые стороны, возможности, угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, который применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Проведение анализа подразделяется на три стадии. Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении

возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

В таблице 3.3 представлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе.

Таблица 3.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Новизна; С2. Перспективы применения BF_3 в качестве дополнительной аварийной защиты в ВТГР; С3. Расчеты проводятся на любом компьютере без специального для этого оборудования; С4. Повышение уровня безопасности реакторной установки (снижение риска возникновения внештатных аварийных ситуаций)	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Невозможность конкурировать с установками промышленного масштаба. Сл2. Расчеты занимают большое количество времени – низкая производительность Сл3. Неавтоматизированная обработка результатов.
Возможности: В1. Предоставление дополнительных рабочих мест; В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт (в том числе, из-за малого наличия конкурирующих материалов); В3. Свободная ниша использования BF_3 в ядерном секторе энергетики.	1. Возможность выиграть гранты на развитие научной разработки; 2. Построить новый ядерный реактор на рассчитанных данных, что позволит существенно поднять спрос на новый материал; 3. Увеличение привлекательности данной энергетической установки среди потенциальных стран заказчиков данного проекта.	1. Необходимость иметь высокое давление в реакторе усложняет конструкцию корпуса реактора; 2. Необходимо автоматизировать процесс обработки результатов расчета.
Угрозы: У1. Снижение государственного финансирования развития атомной энергетики и ввода в эксплуатацию новых типов установок; У2. Наличие малого спроса на новые технологии производства.	1. На данном этапе развития разработки невозможно конкурировать с промышленными технологиями.	1. Необходимы значительное финансирование и время для достижения уровня промышленной разработки.

На основе результатов SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что научно-исследовательский проект хоть и имеет слабые стороны, но данные недочеты незначительны, и компенсируются перспективными возможностями и сильными сторонами проекта.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	B1	+	+	0	0	-	+	+
	B2	+	+	+	+	-	+	+
	B3	0	+	+	+	0	+	0

Таблица 3.5 – Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

	Сильные стороны				Слабые стороны			
		C1	C2	C3	C4	Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы проекта	У1	+	+	-	-	+	-	-
	У2	+	+	-	-	-	-	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей:

V1V2C1C2;V2V3C2C3C4;

V1V2Сл2Сл3;V3Сл2;

У1У2С1С2;

У1Сл1.

Самой большой угрозой для проекта является отсутствие финансовой поддержки и отсутствие спроса на новую технологию.

3.2 Планирование работ по научно-техническому исследованию

3.2.1 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.

Перечень этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчётов и обоснований	Студент
	6	Моделирование и проведение экспериментов	Студент
	7	Проведение расчета системы управления и защиты реактора	Студент
	8	Анализ и обработка полученных результатов	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
Разработка технической документации	10	Разработка чертежа	Студент
Оформление отчета по ВКР	11	Составление пояснительной записки	Студент

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов [21]. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})},$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году, 365 дней;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году, 104 дня;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году, 14 дней.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа. Расчет коэффициента календарности:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - (T_{вых} + T_{пр})} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Все значения, полученные при расчетах по вышеприведенным формулам, приведены в таблице 3.7, студент обозначен С, а руководитель – Р.

Таблица 3.7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни		С	Р	С	Р
	С	Р	С	Р	С	Р				
Составление и утверждение технического задания	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Выбор направления исследований	1	1	2	1	1,4	1	0,7	0,5	1	1
Подбор и изучение материалов по теме	7	-	10	-	8,2	-	8,2	-	12	-
Календарное планирование работ	1	1	2	1	1,4	1	0,7	0,5	1	1
Проведение теоретических расчётов и обоснований	7	-	20	-	12,2	-	12,2	-	18	-
Моделирование и проведение экспериментов	5	-	10	-	7	-	7	-	10	-
Проведение расчета системы управления и защиты реактора	20	-	30	-	14	-	24	-	35	-
Анализ и обработка полученных результатов	3	-	5	-	3,8	-	3,8	-	5	-
Оценка эффективности полученных результатов	3	1	2	1	1,4	1	0,7	0,5	1	1
Разработка чертежа	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-	4	-
Составление пояснительной записки	15	-	25	-	19	-	19	-	28	-

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей в таблице 3.7 был разработан календарный план-график. Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.


Календарный план-график работы представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.8 – Календарный план-график проведения научного исследования

№	Вид работ	Должность исполнителя	Тк, кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	1														
2	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	1	1														
3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	12		1	2	3											
4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1			1												
5	Проведение теоретических расчётов и обоснований	Студент	18			1	2	3										
6	Моделирование и проведение экспериментов	Студент	10				1	2	3									
7	Проведение расчета системы управления и защиты реактора	Студент	35					1	2	3								
8	Анализ и обработка полученных результатов	Студент	5											1	2	3		
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент	1														1	

Продолжение таблицы 3.8

№	Вид работ	Должность исполнителя	Тк, кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
10	Разработка чертежа	Студент	4												
11	Составление пояснительной записки	Студент	28												

 – студент;  – руководитель.

3.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования (НТИ) должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [22]. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

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

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	Шт.	500	1,11	555
Карандаш	Шт.	1	21	21
Тетрадь	Шт.	1	128	128
Ластик	Шт.	1	12	12
Итого, руб.				716

3.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Для данной работы оборудование специально не покупалось, следовательно, необходимо провести расчет амортизации использованного оборудования. Оборудование включает в себя один персональный компьютер стоимостью 60000 рублей, срок службы которого составляет 8 лет.

Затраты на амортизацию считаются по следующей формуле:

$$C_{аморт} = \frac{C_{об}}{T} \cdot t,$$

где T – срок службы (дней);

t – время использования оборудования;

$C_{об}$ – стоимость оборудования (руб.).

Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц	T, лет	t, дней	Цена единицы, руб.	$C_{аморт}$, руб.
1	Персональный компьютер	1 шт.	8	80	65000	1780
Итого, руб.						1780

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада.

Величина заработной платы определена на основе текущего «Положения об оплате труда» ТПУ и количества проделанной работы.

Основная заработная плата определена по формуле:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{дон},$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{он} \cdot T_p,$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{он} = \frac{Z_M \cdot M}{F_\delta},$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада принимается оклад лаборанта и составляет 22400 руб. Оклад руководителя (доцент, к.т.н.) – 37700 руб.);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_δ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:		
- выходные дни;	54	108
- праздничные дни.	14	14

Продолжение таблицы 3.11

Потери рабочего времени:		
- отпуск;	48	24
- невыходы по болезни.	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_{\partial}) \cdot k_p,$$

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

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_{∂} – 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_{mc});

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

Расчет заработной платы для руководителя:

$$Z_M = 37700 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 78416 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{он}} = \frac{78416 \cdot 10,4}{251} = 3249 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 3249 \cdot 4 = 12996 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы для студента:

$$Z_M = 22400 \cdot 1,3 = 29120 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{он}} = \frac{29120 \cdot 11,2}{223} = 1462 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1462 \cdot 80 = 116960 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы представлен в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{гс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	0,3	0,3	1,3	78416	3249	4	12996
Студент	22400	-	-	1,3	29120	1462	80	116960
Итого, руб								129956

3.3.4 Дополнительная заработная плата

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

$$Z_{дон} = Z_{осн} \cdot k_{дон},$$

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

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

$k_{дон}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

В таблице 3.13 приведен расчёт дополнительной заработной платы.

Таблица 3.13 – Расчёт дополнительной заработной платы

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата $Z_{осн}$, руб.	12996	116960
Дополнительная зарплата $Z_{дон}$, руб.	1949	17544
Итого, руб.	19493	

3.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

В 2023 году вместо отдельных тарифов взносов в ФСС, ФОМС, ПФР оплату необходимо выполнять по единому тарифу в Социальный фонд России, который составляет 30 %.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная зарплата $З_{осн}$, руб.	Дополнительная зарплата $З_{доп}$, руб.
Руководитель	12996	1949
Студент	116960	17544
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,3	
Итого, руб.	44834	

3.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 16 %. Их величина определяется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (129956 + 19493 + 44834 + 716 + 1780) = 31484 \text{ руб.}$$

3.3.7 Формирование бюджета затрат НТИ

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	716	Пункт 3.3.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	1780	Пункт 3.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	129956	Пункт 3.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей тем	19493	Пункт 3.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	44834	Пункт 3.3.5
6. Накладные расходы	31484	Пункт 3.3.6
7. Бюджет затрат НТИ	228263	Пункт 3.3.7

Таким образом, плановая стоимость проекта составляет 228263 рублей. Основные затраты приходятся на специальное оборудование для научного проекта.

3.4 Определение ресурсной, 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.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{фин.р}^{исп.і} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}$$

где $I_{фин.р}^{исп.і}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i,$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

В качестве альтернативного варианта исполнения выбран аналогичный проект с использованием программного обеспечения MCU (Monte Carlo Universal), которое также как и WIMS обеспечивает возможность моделирования процессов переноса нейтронов на основе оценённых ядерных данных с учётом изменения изотопного состава материалов, но при этом вырастает общая стоимость проекта, так как данное программное обеспечение стоит 1000000 руб. Следовательно, стоимость проекта с использованием программного обеспечения MCU составляет: 1000000 руб.

Тогда интегральный финансовый показатель для двух разработок определяется как:

$$I_{фин.р}^{исп.1} = \frac{228263}{1000000} = 0,228;$$

$$I_{фин.р}^{исп.2} = \frac{1000000}{1000000} = 1.$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы 3.16.

Таблица 3.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 (WIMS)	Исп.2 (MCU)
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	3
3. Универсальность	0,15	3	5
4. Доступность программ	0,25	5	3
5. Требования к оборудованию	0,15	4	3
6. Точность расчета	0,15	5	5
Итого	1	4,5	3,83

$$I_{р-исп.1} = 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 3 + 0,25 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,55;$$

$$I_{р-исп.2} = 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,25 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 3,7.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{фин.p}};$$

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{фин.p}} = \frac{4,55}{0,228} = 19,95;$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{фин.p}} = \frac{3,35}{1} = 3,7.$$

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}):

$$\mathcal{E}_{cp.i} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.i}};$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{19,95}{3,7} = 5,39.$$

Эффективность разработки представлена в таблице 3.17.

Таблица 3.17 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп.1 (WIMS)	Исп.2 (MCU)
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,228	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,55	3,7
3	Интегральный показатель эффективности	19,95	3,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	5,39	

Сравнив значения интегральных показателей эффективности, можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

3.5 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент»

По результатам настоящего раздела выпускной квалификационной работы проведен анализ потребителей результатов проекта реализации реактора типа ВТГР. Для сравнения конкурентных технических решений использовалась оценочная карта, где проведен сравнительный конкурирующих разработок для основного материала поглотителя.

Также проведён SWOT-анализ, в котором представлены сильные и слабые стороны проекта. На основе результатов SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что проект хоть и имеет слабые стороны, но данные недочеты незначительны, и компенсируются перспективными возможностями и сильными сторонами проекта. Самой большой угрозой для проекта является отсутствие финансовой поддержки и отсутствие спроса на новую технологию.

Составлен бюджет проведения научного исследования, составляющий по итогу 228263 рубля. А также проведена оценка эффективности реализации проекта с помощью программного комплекса WIMS по сравнению с программой MCU, которая составила 5,39.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А93	Пасько Дмитрию Вячеславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	14.03.02 Ядерные физика и технологии / Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объект исследования: комплексная система управления и защиты реакторной установки типа ВТГР. Область применения: ядерная энергетика.</i>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации; – СанПиН 2.6.1.2523-09; – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ; – ГОСТ 21889-76; – ГОСТ 22269-76; – ГОСТ Р 50923-96; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – НРБ-99/2009.
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень электромагнитного излучения; – отклонение показателей микроклимата; – превышение уровня шума; – недостаточная освещенность рабочей зоны; – опасность поражения электрическим током; – радиационная безопасность.
<p>3. Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – возможные чрезвычайные ситуации при разработке и эксплуатации проектируемого решения: пожар, взрыв, природные катаклизмы; – наиболее вероятная чрезвычайная ситуация на рабочем месте – пожар.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А93	Пасько Дмитрий Вячеславович		

4 Социальная ответственность

В настоящей исследовательской работе создана комплексная система управления и защиты реактора типа ВТГР с учетом выгорающих поглотителей и дополнительного метода регулирования критичностью в виде газообразного соединения бора. Исследование проводилось в 10-ом корпусе Томского политехнического университета в лаборатории № 010-6 с использованием компьютера.

Целью данного раздела является анализ соблюдения санитарных норм и правил в процессе работы над проектом с применением ЭВМ. Рассматриваются меры необходимые для защиты от негативного воздействия среды. Исследуются вредные и опасные факторы, которые негативно влияют на здоровье человека при работе с соответствующими элементами. Изучаются способы снижения воздействия этих факторов до допустимых пределов. Кроме того, рассматриваются возможные аварийные и чрезвычайные ситуации и действия, выполняемые при их возникновении.

4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

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

Во время работы могут возникнуть следующие вредные и опасные факторы, которые представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 –Опасные и вредные факторы в лаборатории № 010-6

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 [23])	Нормативные документы
1. Микроклимат	ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [24]; СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [25].

Продолжение таблицы 4.1

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 [23])	Нормативные документы
2. Шум	ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1) [26].
3. Освещенность	СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1) [27].
4. Электромагнитные поля	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов [28]; ГОСТ 12.1.006-84. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля [29].
5. Электробезопасность	ГОСТ Р 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность [30]; ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи [31].
6. Пожаровзрывобезопасность	ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования [32]; СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2) [33].
7. Радиационная безопасность	СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 [34].

На студента, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

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

– психофизиологические.

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

4.2 Микроклимат

Микроклимат оказывает существенное влияние на организм человека. Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха может привести к переохлаждению организма. При повышении температуры воздуха работоспособность человека падает.

Показателями, характеризующими микроклимат, являются [25]:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Отклонения от норм микроклимата могут являться: нагрев поверхностей технологического оборудования, влияние окружающей среды на рабочее помещение, неправильная проектировка и/или выбор материалов рабочего помещения, неверный режим работы вентиляции. Отклонения могут привести к снижению работоспособности человека, переутомляемости и риску возникновения заболеваний.

Существуют определенные категории работ, каждой из которых присваиваются определённые оптимальные параметры микроклимата. Работу с компьютером в лаборатории № 010-6 10-ого корпуса Томского политехнического университета можно категорировать как лёгкая физическая работа (категория 1б).

Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [25] и приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Лёгкая - 1б	21-23	40-60	Не более 0,1
Тёплый		22-24	40-60	Не более 0,1

Параметры микроклимата в аудитории № 010-6 10-ого корпуса Томского политехнического университета, регулируемые системой центрального отопления, имеют следующие значения: влажность 40 %, скорость воздуха менее 0,1 м/с, летняя температура 22-23 °С, зимой 20-23 °С. Также в рамках микроклимата требуется рассчитать необходимый воздухообмен помещения.

Для расчёта кратности воздухообмена вентилятора, который будет обеспечивать циркуляцию воздушных масс в помещении, воспользуемся формулой [35]:

$$W = V \cdot k = S \cdot h \cdot k,$$

где k – нормированная кратность воздухообмена;

V – объём аудитории;

S – площадь аудитории ($S = 42 \text{ м}^2$);

h – высота потолка в аудитории ($h = 3,25 \text{ м}$).

Для подвального помещения $k = 12$. Подставляя данные в формулу, получим характеристику кратности воздухообмена вентилятора:

$$W = 42 \cdot 3,25 \cdot 12 = 1638 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Такой уровень воздухообмена может обеспечить канальный вентилятор марки ВКП-50-25-4Е, максимальная производительность которого составляет 1650 м³/ч [36].

Также необходима система центрального отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры в зимний период [37]. Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

Таким образом, можно сделать вывод, что показатели микроклимата в аудитории № 010-6 10-го корпуса ТПУ удовлетворяют установленным требованиям [24, 25, 35, 37].

4.3 Шум

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Для оценки шумовой обстановки допускается использовать числовую характеристику, называемую уровнем звука (измеряется в дБ). В соответствии с [38] допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях с шумным оборудованием, составляет 75 дБ. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности согласно [41].

В лаборатории № 010-6 учебного корпуса № 10 ТПУ основным источником шума являются работающие вентиляторы в персональных компьютерах. В соответствии со спецификацией, уровень шума блока питания компьютера составляет 5-10 дБ, уровень шума охлаждающего устройства процессора 15-20 дБ, остальные элементы охлаждения являются пассивными и их уровень шума не учитывается.

В аудитории № 010-6 учебного корпуса № 10 ТПУ дополнительная звукоизоляция не требуется, так как предельный уровень шума не превышает установленных.

Защита от повышенных уровней шума в аудитории № 010-6 10-ого корпуса Томского политехнического университета осуществляется методами его снижения в источнике образования и на пути распространения, устройством экранов и звукопоглощающих облицовок, средствами индивидуальной защиты согласно [38].

4.4 Освещенность

Недостаточная освещенность рабочей зоны также считается одним из факторов, влияющих на работоспособность человека. Источники света могут быть как естественными, так и искусственными. Естественным источником света в помещении является солнце, искусственным светом являются лампы. При длительной работе в условиях низкой освещенности снижается зрительное восприятие, развивается близорукость, заболевания глаз, появляются головные боли. Правильно подобранные источники света и их проектирование создают условия для производственного труда, корректности выполнения технологических операций, соблюдения правил и техники безопасности.

Главной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости.

Внутри помещений по способу размещения светильников и распределению освещенности различают следующие системы искусственного освещения: общее и комбинированное.

При учете особенностей процесса работ на компьютере допускается применение системы общего равномерного освещения.

Общим называется освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения, как занятую оборудованием или рабочими местами, так и вспомогательную. В зависимости от расположения светильников различают равномерное и локализованное общее освещение. При общем равномерном освещении светильники располагаются в верхней зоне помещения равномерно, обеспечивая тем самым одинаковую освещенность всего помещения. Оно применяется, как правило, когда расположение рабочих зон при проектировании неизвестно либо при гибкой планировке. При общем локализованном освещении светильники размещают с учетом расположения

технологического оборудования, создавая на отдельных поверхностях требуемый уровень освещения.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отраженный от потолка и стен.

Световой поток Φ определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta},$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность, равная 200 лк;

S – площадь освещаемого помещения, равная 42 м²;

K_z – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, берется равным 1,5;

Z – коэффициент неравномерности освещения, равный 1,1;

N – число светильников в помещении, равное 12 шт.;

η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения i , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью h и коэффициентов отражения стен ρ_c и потолка ρ_{Π} .

Индекс помещения находится по следующей формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)},$$

где A – длина помещения, равная 7 м;

B – ширина помещения, равная 6 м;

h – расстояние от светильника до рабочей поверхности, равное 3 м.

Тогда индекс помещения равен:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{42}{3 \cdot (6 + 7)} = 1,07.$$

Состояние стен – свежепобеленные с окнами без штор, коэффициент отражения $\rho_c = 50 \%$. Состояние потолка – светлый деревянный, коэффициент отражения $\rho_{\Pi} = 50 \%$. Исходя из приведенных величин коэффициент использования светового потока равен 50 %.

Подставляя все величины в формулу (4.4.1), получаем световой поток:

$$\Phi = \frac{200 \cdot 42 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,50} = 2310 \text{ Лм.}$$

В соответствии с рассчитанным значением светового потока, наиболее оптимальной световой люминесцентной лампой является лампа типа OSRAM DULUX L 36 W/930 2G11 с электрической мощностью осветительной системы 36 Вт и световым потоком 2350 Лм [40].

Фактическое освещение аудитории № 010-6 10-ого корпуса Томского политехнического университета соответствует установленным нормам [27].

4.5 Электромагнитные поля

Основным вредным фактором при использовании электронной вычислительной машины (ЭВМ) является электромагнитное излучение от составляющих частей компьютера. Нормы временных допустимых уровней (ВДУ) электромагнитного излучения ЭВМ, установленные в нормах [28], представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых ЭВМ на рабочих местах

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

Экран и системные блоки ЭВМ также производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать нормам [28, 29].

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы.

Существуют следующие способы защиты от электромагнитных полей:

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

В аудитории № 010-6 10-ого учебного корпуса ТПУ уровни электромагнитных полей соответствуют допустимым нормам [28, 29].

4.6 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электротока, электродуги, электромагнитного поля и статического электричества согласно [30, 31]. Электрический ток, проходя через тело человека, производит тепловое, химическое и биологическое воздействие, тем самым нарушая нормальную жизнедеятельность. Работники, принимаемые для выполнения работ в электроустановках, должны иметь профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы.

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 надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

В рамках исследовательской работы не производились контакты с открытыми источниками электрического тока. Рабочий кабинет № 010-6 учебного корпуса № 10 ТПУ относится к 1-й категории по электробезопасности, так как на рабочем месте отсутствуют электроустановки с напряжением свыше 1000 В [30].

4.7 Пожаровзрывобезопасность

В зависимости от характеристик веществ и материалов, находящихся в помещении, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения в соответствии с [41] подразделяются на категории:

- повышенная взрывопожароопасность (А);
- взрывопожароопасность (Б);
- пожароопасность (В1-В4);
- умеренная пожароопасность (Г);
- пониженная пожароопасность (Д).

Лаборатория № 010-б относится к категории В, так как в нем содержатся твердые горючие вещества в холодном состоянии [41].

Возможные причины возгорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоках питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

В целях снижения риска возникновения пожара и минимизации возможного ущерба производятся профилактические мероприятия, которые подразделяются на организационно-технические, эксплуатационные и режимные.

Организационно-технические мероприятия заключаются в проведении регулярных инструктажей сотрудников ответственным за пожарную безопасность, обучении сотрудников надлежащей эксплуатации оборудования и необходимым действиям в случае возникновения пожара, паспортизацию веществ, материалов и изделий в части обеспечения пожарной безопасности, изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности [32, 33].

К эксплуатационным мероприятиям относят профилактические осмотры оборудования. Мероприятия режимного характера включают установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

Для предупреждения возникновения пожара 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 негорюемых 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.

В помещении с электрооборудованием, во избежание поражения электрическим током, целесообразно использовать углекислотные или порошковые огнетушители. Данные огнетушители предназначены для тушения загораний различных веществ и материалов, электроустановок под напряжением до 1000 В, горючих жидкостей.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с инструкцией.

4.8 Радиационная безопасность

В различных учебно-научных лабораториях могут располагаться источники ионизирующего излучения, которые используются для проведения различных лабораторных работ, поэтому важно знать основные принципы радиационной безопасности при работе с такими источниками и возможное воздействия на персонал. К опасным и вредным производственным факторам, связанным с повышенным уровнем ионизирующих излучений, относят следующие виды излучений [34]:

- коротковолновое электромагнитное излучение – рентгеновское излучением и гамма-излучение;
- потоки частиц: бета-частиц, альфа-частиц, нейтронов, протонов, мюонов, осколков деления и др.
- излучение, вызванное радиоактивным загрязнением (выше природного фона), в том числе загрязнением техногенными радионуклидами:
 - радиоактивное загрязнение воздуха рабочей зоны;
 - радиоактивное загрязнение поверхностей и материалов производственной среды, включая средства защиты работающих и их кожные покровы.

В результате воздействия ионизирующих излучений на организм человека нарушается нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма. Любой вид ионизирующего излучения вызывает биологические изменения в организме как при внешнем облучении, когда источник облучения находится вне организма, так и при внутреннем облучении, когда радиоактивные вещества попадают внутрь организма [34].

В ходе выполнения научного исследования работы с источниками ионизирующего излучения не осуществлялись.

4.9 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (далее – ЧС) – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [42]. Существует два вида чрезвычайных ситуаций: техногенная и природная.

К техногенным ЧС можно отнести пожары, взрывы, диверсии, выбросы ядовитых веществ. К природным ЧС относятся природные катаклизмы.

К опасностям несчастного случая относится внезапный и неуправляемый источник энергии: двигающийся предмет, неуправляемое движение или энергия.

Рассмотрим возможные аварийные ситуации (далее – АС) и ЧС в аудитории № 010-б и мероприятия по их предотвращению и ликвидации последствий, представленные в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – АС и ЧС, мероприятия по их предотвращению и ликвидации последствий

№	АС и ЧС	Мероприятия по предотвращению АС и ЧС	Мероприятия по ликвидации последствий АС и ЧС
1	Травмирование по причине падения с высоты собственного роста	1. Содержание помещения в надлежащем порядке. 2. Ограничение рабочего пространства. 3. Своевременное проведение инструктажа.	1. Осмотреть или опросить пострадавшего; 2. При необходимости вызвать скорую помощь по номеру 112; 3. При необходимости остановить кровотечение; 4. При подозрении перелома позвоночника у пострадавшего, необходимо обеспечить пострадавшему полный покой в положении лежа на спине до оказания квалифицированной медицинской помощи.

Продолжение таблицы 4.4

№	АС и ЧС	Мероприятия по предотвращению АС и ЧС	Мероприятия по ликвидации последствий АС и ЧС
2	Травмирование по причине удара электрическим током	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заземление всех электроустановок. 2. Ограничение рабочего пространства. 3. Обеспечение недоступности токоведущих частей аппаратуры. 4. Своевременное проведение инструктажа. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Быстро освободить пострадавшего от действия электрического тока; 2. Вызвать скорую помощь по номеру 112; 3. Если пострадавший потерял сознание, но дыхание сохранилось, его следует удобно уложить, расстегнуть стесняющую одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой; 4. Если пострадавший потерял сознание, необходимо дать понюхать пострадавшему нашатырный спирт, сбрызнуть лицо водой, растереть и согреть тело; 5. При отсутствии дыхания нужно немедленно делать искусственное дыхание и массаж сердца.
3	Пожар	<ol style="list-style-type: none"> 1. Своевременное проведение инструктажа. 2. Установление средств автоматического пожаротушения в помещениях. 3. Установка датчиков дыма и огня. 4. Обеспечение путей эвакуации и поддержание их в надлежащем состоянии. 4. Контроль работы электроприборов 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обесточить помещение, прекратить поступление воздуха; 2. Немедленно сообщить о пожаре по номеру 112, также сообщить о пожаре дежурному или на пост охраны; 3. По возможности принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и спасению материальных ценностей.

4.10 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В разделе рассмотрены следующие вредные и опасные факторы аудитории № 010-6 учебного корпуса № 10 ТПУ:

- микроклимат [24, 25];
- шум [26];
- освещенность [27];
- электромагнитное излучение [28, 29];
- электробезопасность [30, 31];
- пожаровзрывобезопасность [32, 33];
- радиационная безопасность [34].

Аудитория № 010-6 10-го учебного корпуса Томского политехнического университета относится к категории В по пожаровзрывобезопасности [41] и к 1 категории по электробезопасности [30].

Также рассмотрены потенциальные аварийные и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при работе в аудитории № 010-6 учебного корпуса № 10 ТПУ, и мероприятия по их предотвращению и ликвидации последствий согласно [30, 31, 32, 33].

Заключение

В настоящей бакалаврской работе проведён нейтронно-физический расчет реакторной установки типа ВТГР с помощью программного комплекса WIMS. На основании полученного спектра потока нейтронов в качестве основных поглощающих материалов были рассмотрены материалы и соединения, содержащие изотопы ^{10}B , ^{157}Gd , ^{155}Gd , ^{153}Eu , ^{151}Eu , имеющие высокие сечения поглощения нейтронов. Чтобы оценить влияние каждого из изотопов, проведён расчет изменения плотности потока нейтронов для каждого материала. Исходя из результатов, полученных при расчете установлено, что наибольшее влияние оказывает изотоп бор-10. Таким образом, в качестве материала СУЗ для реактора ВТГР был выбран борсодержащий материал, а именно – карбид бора.

Применение карбида бора в качестве поглотителя для стержней СУЗ реактора ВТГР обусловлено его высокими нейтронно-физическими и технологическими свойствами, удовлетворительной радиационной стойкостью, технической доступностью и широкой применяемостью в различных типах реакторов.

Рассмотрено два варианта размещения компенсирующих стержней в ядерном реакторе, чтобы данное распределение не оказывало существенное влияние на его характеристики. В результате анализа вариантов, наиболее оптимальным оказалось размещение компенсирующего стержня в топливном канале. Предусмотренный зазор толщиной в $1,65 \cdot 10^{-3}$ м позволит учесть тепловое расширение материалов при температуре эксплуатации реакторной установки, накопление продуктов реакции поглощения нейтронов ^{10}B и избежать застревания КС в канале

Проведен расчет веса стержня в центральной части активной зоны различной толщины без учета выгорающего поглотителя из ранее выбранного материала – карбида бора и для сравнения эффективности из оксидов гадолиния (Gd_2O_3) и европия (Eu_2O_3). Исходя из полученного результата, B_4C

наиболее эффективен в данной системе в качестве материала органов СУЗ, что позволит скомпенсировать избыточную реактивность с наименьшими затратами материалов поглотителей.

Рассмотрено применение борсодержащих материалов: В, BN, B₄C, ZrB₂ в качестве выгорающего поглотителя в виде покрытия тонкого слоя на поверхность топливной таблетки. На основе термомеханических свойств и нейтронно-физического расчета выбран диборид циркония (ZrB₂). Напыление на все топливные таблетки в рассматриваемой системе позволяют скомпенсировать $\rho=11,4\%$.

Проведена оценка оптимального расстояния между органами СУЗ по длине миграции нейтронов в активной зоне, используя макроконстанты рассчитываемые программным комплексом WIMS. Исходя из результатов расчета, оптимальное расстояние между органами СУЗ будет от 20 см.

Проведен расчет нейтронно-физических параметров активной зоны рассматриваемой установки с применением BF₃ в канале теплоносителя при различной объемной доли в активной зоне, а также при различном обогащении бора по 10 изотопу. Наиболее эффективным для компенсации избыточной реактивности является обогащенный вариант BF₃, так при добавлении обогащенного варианта до 37 % по ¹⁰B в соотношении 50/50 % в канал теплоносителя можно скомпенсировать избыточный запас реактивности, и при необходимости высвободить его, при уменьшении объемного соотношения, из чего можно сделать вывод о возможности его применения в качестве дополнительной аварийной защиты ВТГР, на случай частичного или полного отказа работы аварийной защиты.

Рассчитан бюджет проведения научного исследования, составляющий по итогу 228263 рубля. А также проведена оценка эффективности реализации проекта с помощью программного комплекса WIMS по сравнению с программой MCU, которая составила 5,39.

Рассмотрены следующие вредные и опасные факторы аудитории № 010-6 учебного корпуса № 10 ТПУ:

- микроклимат [24, 25];
- шум [26];
- освещенность [27];
- электромагнитное излучение [28, 29];
- электробезопасность [30, 31];
- пожаровзрывобезопасность [32, 33];
- радиационная безопасность [34];

Аудитория № 010-6 10-го учебного корпуса Томского политехнического университета относится к категории В по пожаровзрывобезопасности [41] и к 1 категории по электробезопасности [30].

Также рассмотрены потенциальные аварийные и чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при работе в аудитории № 010-6 учебного корпуса № 10 ТПУ, и мероприятия по их предотвращению и ликвидации последствий согласно [30, 31, 32, 33].

Список использованных источников

1. Перспективы развития высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов [Электронный ресурс] / URL: <https://www.atomic-energy.ru/technology/73919> – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 26.04.2023 г.
2. В. Н. Гребенник, Н. Е. Кухаркин, Н. Н. Пономарев-Степной. – Москва: Энергоатомиздат, 2008. – 136 с.
3. Митенков Ф.М., Кодочигов Н.Г., Васяев А.В., Головкин В.Ф., Пономарев-Степной Н.Н., Кухаркин Н.Е., Столяревский А.Я. Высокотемпературный газоохлаждаемый реактор - энергоисточник для промышленного производства водорода // Атомная энергия, Т. 97, № 6, 2004, С. 432-446.
4. Физическое материаловедение. Том 6, часть 2. Ядерные топливные материалы /Ю.Г. Годин, А.В. Тенишев, В.В. Новиков. – М.: МИФИ, 2008. – 604 с;
5. Черников, А.С., Пермяков Л.Н., Федик И.И., Гаврилин С.С., Курбаков С.Д. Ядерное топливо для ВТГР на основе микросфер из оксида плутония // Атомная энергия. Том 88, вып. 1. – 2000. – С. 35-38.
6. Медведева Н.И., Еняшин А.Н., Ивановский А.Л. Моделирование электронного строения, химической связи и свойств тройного силикокарбида Ti_3SiC_2 // Журнал структурной химии. – 2011. – Т. 52, № 4. – С. 806–822.
7. M. W. Barsoum, “The $MN+1AXN$ Phases: A New Class of Solids: Thermodynamically Stable Nanolaminates,” Progress in Solid State Chemistry, Vol. 28, No. 1-4, 2000, pp. 201-281
8. Лилиенберг Т., Хьортстам О., Вольпони С. Нанотехнология: от малых размеров к большим возможностям // АББРею. – 2003. – № 2. – С. 49-53.

9. Дементьев Б. А. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Энергоатомиздат, 1986.
10. Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов. Курс для эксплуатационного персонала АЭС. - Севастополь: СИЯЭиП, 2001. – 341 с.
11. Герасимов В.В., Монахов А.С. Материалы ядерной техники. М., Энергоиздат, 1982, 288 с.3. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т. 5: Триптофан-Ятрохимия / Редкол.: Зефирова Н. С. (гл. ред.) и др. - М.: Большая Российская энцикл., 1998. – 782 с.: ил.
12. Волков В.С., Лукьянов А.С., Челкунов В.В. и др. Применение выгорающих поглотителей в ядерных реакторах. // Атомная энергия, Том 11, № 8, 1961, С. 109-121.
13. Deen, J.R., Woodruff, W.L., Costescu, C.I., Leopando L.S., WIMS-ANL User Manual, Rev. 6, Argonne National Laboratory, ANL/TD/TM99-07, 2004. – 170 с.
14. WIMS-D Library Update [Электронный ресурс] / URL: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1264_web.pdf – свободный. – Загл. с экрана. – Яз англ. Дата обращения: 04.05.2023 г.
15. А.Г. Наймушин, Ю.Б. Чертков. Методические указания к лабораторно-практической работе. Томск.: НИ ТПУ, 2011. – 99 с.
16. Окунев, В. С. Нейтронно-физический расчет решетки ядерного реактора на основе газокинетической теории переноса : учебное пособие / В. С. Окунев, И. С. Лисицин; под ред. В. И. Солониной. - Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. - 145 с.
17. Горский В.В. Технология изготовления и применения в реакторах PWR таблеток UO_2 с покрытием из ZrB_2 // Атомная техника за рубежом. – 1989. – № 9. – С. 7–14.
18. Сидоренко В.А. Вопросы безопасной работы реакторов ВВЭР. М.: Атомиздат, 1977. - 216 с.

19. Desai, S.S., Rao, M.N. Drift of electrons and performance of BF₃ filled neutron proportional counters // AIP Conference Proceedings Vol. 1832, 2017.
20. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев [и др.]. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014 – 36 с.
21. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. – М.: Энергия, 1980. – 175 с
22. Кузьмина Е.А. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю / Кузьмин А.М. – «Методы менеджмента качества» № 7 2002 г.
23. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071/> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.
24. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003003> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.
25. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.
26. ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1) – URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200291> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.
27. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001026> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.
28. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

29. ГОСТ 12.1.006-84. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля – URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200272> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

30. ГОСТ Р12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. – URL: <https://beta.docs.cntd.ru/document/1200161238> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

31. ГОСТ Р МЭК 61140-2000. Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200017996> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

32. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

33. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2) [Текст]. – Введ. 01.01.1998 – Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 21 с.

34. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 – URL: <https://base.garant.ru/4188851/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

35. ГОСТ 32548-2013. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110084> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

36. Канальный вентилятор для прямоугольных воздуховодов ВКП-50-25-4Е – URL: <https://vent48.ru/magazin/product/kanalnyy-ventilyator-dlya->

pryamougolnykh-vozdukhovodov-vkr-2 (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

37. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035579> (дата обращения: 19.05.2023)

38. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/5200292> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

39. ГОСТ 12.4.026-76*. Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200003391> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

40. Островок света. Лампы люминесцентные. – URL: https://ostrovoksveta.ru/katalog/lyuminestsentnye_kompaktnye/dulux_136w_32_930_2g11_lampa_osram/ (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

41. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643). Текст: электронный. Доступ из сборника НСИС ПБ. – 2011. – № 2 (45).

42. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139176> (дата обращения: 19.05.2023). – Текст: электронный.

