

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Кафедра Физико-энергетические установки

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Нейтронно-физический расчет ядерного реактора типа УГР

УДК 621.039.536

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Посохов Денис Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ФЭУ	А.О. Семенов	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	К.Х.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой ФЭУ

 (Подпись) (Дата) **О.Ю. Долматов**
 (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А2В	Посохов Денис Валерьевич

Тема работы:

Нейтронно-физический расчет реактора РБМК-1000	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	18.02.2016 №1333/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Тепловая мощность 1550 [МВт] - Ядерное горючее UO₂ - Обогащение урана 2,5 % - Температура на входе 290 [°C] - Температура на выходе 635 [°C] - Твэлы стержневые оребренные с наружным охлаждением -Материал оболочек твэлов и кассет: Хромоникелевая сталь.
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Нейтронно-физический расчет «холодного» реактора - Нейтронно-физический расчет «горячего» реактора - Многогрупповой расчет - Свертка - Расчёт нуклидного состава (в результате отравления, шлакования)
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Презентация - Чертеж ячейки

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А.А. Сечина
Социальная ответственность	Т.С. Гоголева
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.05.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ФЭУ	А.О. Семенов	—		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Посохов Денис Валерьевич		16.05.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Посохову Денису Валерьевичу

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	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>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ Календарный план-график реализации проекта.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Бюджет научно – технического исследования: - Расчет материальных затрат; - Основная заработная плата исполнителей темы.
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	А.А. Сечина	к.х.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Посохов Денис Валерьевич		16.05.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Посохову Денису Валерьевичу

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерная физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредные факторы производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, отклонение показателей макроклимата от оптимальных, ионизирующее излучение от ПЭВМ; – опасные факторы производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожарная безопасность; – требование охраны труда при работе с ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электромагнитные поля от ЭВМ; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью; – предлагаемые средства защиты.
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Т.С. Гоголева	к.ф.-м.н.		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Посохов Денис Валерьевич		16.05.2016

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

Институт Физико-технический
 Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования высшее
 Кафедра Физико-энергетические установки
 Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
19.05.2016	<i>Определение состава и принципа действия системы</i>	
26.05.2016	<i>Качественный анализ надёжности системы</i>	
02.06.2016	<i>Построение логического «дерева» отказов</i>	
09.06.2016	<i>Количественный анализ надёжности системы</i>	
20.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ФЭУ	А.О. Семенов	–		16.05.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		16.05.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 114 с., 8 рис., 23 табл., 9 источников, 7 прил., 2 чертеж, 1 спецификация.

Ключевые слова: уран-графитовый реактор, отравление, выгорание, шлакование, диоксид урана, нейтронно-физический расчет, многогрупповой расчет.

Объектом исследования является ядерный реактор мощностью 1550 МВт с топливом UO_2 и обогащением 2,5 %, теплоноситель – углекислый газ.

Цель работы – оценочный нейтронно-физический расчет реактора, состоящий в физическом обосновании конструкции и определении совокупности физических параметров, удовлетворяющего поставленным требованиям.

В процессе исследования проводились расчеты нейтронно-физических характеристик реактора, на основании которых были получены таблицы и построены графики, а так же начерчен чертеж; произведен расчет финансовой составляющей работы, описаны внешние факторы, влиявшие на выполнение работы. В результате исследования произведён нейтронно-физический расчет данного реактора, в частности оценены размеры активной зоны, рассчитаны коэффициенты размножения «холодного» и «горячего» реакторов, произведен расчет реактора на конец кампании.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: реактор типа УГР, тепловая мощность – 1550 МВт, ядерное горючее – UO_2 , обогащение 2,5%, теплоноситель – CO_2 , Твэлы – стержневые оребренные с наружным охлаждением, материал оболочек твэлов и кассет – сталь хромоникелевая сталь.

Область применения: ядерная энергетика.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

Ядерный реактор: Устройство, предназначенное для организации управляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления, сопровождаемой выделением энергии.

Кампания ядерного реактора: Время работы реактора с одной и той же загрузкой ядерного топлива.

Кампания ядерного топлива: Время работы топлива в пересчете на полную мощность реактора; время, в течение которого топливо находится в реакторе.

Выгорание ядерного топлива: Снижение концентрации любого нуклида в ядерном *топливе*, вследствие *ядерных* превращений этого нуклида при работе реактора.

Отравление ядерного реактора: Процесс накопления в реакторе короткоживущих продуктов деления, участвующих в непроизводительном захвате нейтронов и тем самым снижающих запас реактивности реактора при их образовании.

Шлакование ядерного топлива: Процесс накопления в работающем реакторе стабильных и долгоживущих продуктов деления, участвующих в непроизводительном захвате нейтронов и тем самым снижающих запас реактивности реактора.

БН – быстрые нейтроны;

ВВЭР – водо–водяной энергетический реактор;

МэВ – мегаэлектронВольт;

РБМК – реактор большой мощности канальный;

ТКР – температурный коэффициент реактивности;

ТЭР – температурный эффект реактивности;

УГР – уран-графитовый реактор;

КВ – коэффициент воспроизводства;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	16
1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	17
1.1 Уран – графитовые реакторы.....	17
1.2 Уран-графитовые реакторы с газовым теплоносителем.....	17
1.3 Тепловыделяющие элементы реакторов	19
1.3 Диоксид урана	20
1.4 Графит как замедлитель	21
1.5 Хромоникелевая сталь.....	21
2 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	23
2.1 Предварительный расчет.....	23
2.2 Расчет концентраций	26
2.2.1 Расчет концентрации топлива.....	27
2.2.2 Расчет концентрации оболочки	27
2.2.3 Расчет концентрации теплоносителя	28
2.2.4 Расчет концентрации замедлителя	28
2.3 Доли материалов в ячейке.....	28
2.4 Расчет микросечений и макросечений для «холодного» реактора.....	29
2.4.1 Расчет макросечений для углекислого газа.....	30
2.4.2 Микросечения и макросечения для U^{235}	31
2.4.3 Микросечения и макросечения для U^{238}	32
2.4.4 Микросечения и макросечения для кислорода	32
2.4.5 Макросечения для диоксида урана.....	33
2.4.6 Микросечения и макросечения для графита	33
2.4.7 Расчет макросечения для стали	33

2.5	Расчет коэффициента размножения для бесконечной среды.....	34
2.5.1	Расчет коэффициента выхода нейтронов на одно поглощение.....	34
2.5.2	Расчет коэффициента размножения на быстрых нейтронах	34
2.5.3	Расчет коэффициента использования тепловых нейтронов	35
2.5.4	Расчет вероятности избежать резонансного захвата	37
2.5.5	Расчет эффективного коэффициента размножения.....	38
2.5.6	Оптимизация параметров ячейки	40
2.6	Ядерно-физические характеристики «горячего» реактора.....	44
2.7	Многогрупповой расчет, спектр и ценности нейтронов в активной зоне .	48
2.7.1	Пересчет концентраций	48
2.7.2	Многогрупповой расчет.....	50
2.8	Определение параметров двухгруппового расчета	54
2.9	Выгорание ядерного топлива.....	55
2.9.1	Коэффициент воспроизводства.....	57
2.10	Отравление реактора	57
2.10.1	Определение средней плотности потока нейтронов по реактору	57
2.10.2	Определение равновесных ядерных концентраций Xe и Sm	58
2.10.3	Определение накопления I, Xe, Pm, Sm при работе ядерного реактора на стационарной мощности.....	58
2.10.4	Определение потери реактивности при отравлении Xe и Sm в любой момент времени до установления стационарного значения.....	59
2.10.5	Определение изменения реактивности после остановки реактора....	60
2.10.6	Определение времени достижения полной глубины йодной ямы и прометиевого провала.....	60
2.10.7	Шлакование реактора	61

2.10.8	Расчёт реактора в конце кампании	61
3	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	64
3.1	Потенциальные потребители результатов исследования	64
3.2	Анализ конкурентных технических решений	65
3.3	SWOT-анализ.....	67
4	ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ.....	71
4.1	Структура работ в рамках научного исследования	71
4.2	Определение трудоемкости выполнения работ	72
4.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	73
4.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	76
4.4.1	Расчет материальных затрат НТИ	77
4.4.2	Основная заработная плата исполнителей темы.....	78
4.4.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страхование)	81
4.4.4	Накладные расходы.....	82
4.4.5	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	83
4.5	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	84
5	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	87
5.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	87
5.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих.....	89
5.2.1	Организационные мероприятия.....	89
5.2.2	Технические мероприятия.....	89
5.3	Условия безопасной работы	92
5.4	Электробезопасность	94

5.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА.....	99
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	103
Приложение А	104
Приложение Б.....	105
Приложение В.....	106
Приложение Г	110
Приложение Д.....	112
Приложение Е.....	112
Приложение Ж.....	114

ВВЕДЕНИЕ

Газо-графитовый ядерный реактор (ГГР) – реактор, в котором замедлителем служит графит, теплоносителем – газ (гелий, углекислый газ и др.). По сравнению с ВВР и ГВР, реакторы с газовым теплоносителем наиболее безопасны. Это объясняется тем, что газ практически не поглощает нейтроны, поэтому изменение содержания газа в реакторе не влияет на реактивность. Таким образом, целью работы является: оценочный нейтронно-физический расчет реактора, состоящий в физическом обосновании конструкции и определении совокупности физических параметров, удовлетворяющего поставленным требованиям.

Для достижения поставленной цели, необходимо решение следующих задач:

- Выбор конструктивной схемы реактора и выполнение оценочного теплового расчета;
- Расчет критических параметров проектируемого реактора;
- Расчет характеристик «горячего» реактора;
- Расчёт нуклидного состава топлива в результате отравления и шлакования.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Уран – графитовые реакторы

Так как графит имеет очень низкое сечение поглощения нейтронов, химически довольно инертен, термостоек, обладает высокой теплопроводностью, то при проектировании и эксплуатации реакторов с графитовым замедлителем возникает ряд следующих особенностей:

- возможность использования в сочетании с графитом различных теплоносителей, в том числе высокотемпературных;
- более высокие коэффициенты воспроизводства, чем в ВВЭР;
- функционирование системы с перегрузкой работающего реактора;
- минимальное количество конструкционных материалов в активной зоне при использовании природного урана в сочетании с газовым теплоносителем;
- с другой стороны, реакторы с графитовым замедлителем обладают определенными недостатками:
 - относительно малая замедляющая способность и большая длина замедления приводит к большим размерам и, соответственно, низкой плотности теплосъема активной зоны;
 - длительные радиационные воздействия приводят не только к изменению физико-механических свойств и размеров графита, но и сопровождаются значительным накоплением внутренней энергии.

1.2 Уран-графитовые реакторы с газовым теплоносителем

Газографитовые реакторы получили наибольшее распространение в Англии и Франции. Достоинства и недостатки этих реакторов связаны с особенностями газового теплоносителя:

- возможность получения высоких температур, независимо от величины давления, пара высоких стандартных параметров и высокого КПД;

– так как газовый теплоноситель слабо взаимодействует с материалами активной зоны, то отпадает необходимость в плотных металлических каналах, отделяющих топливо с теплоносителем от замедлителя, то есть захват нейтронов конструкционными материалами значительно уменьшается;

– инерционность и сравнительно небольшая радиоактивность газа, отрицательный температурный коэффициент радиоактивности упрощают управление и снижают потенциальную опасность большой аварии.

С другой стороны, для ГГР специфичны определённые трудности, связанные с малой объёмной теплоёмкостью и коэффициентом теплоотдачи ТВЭЛов, что приводит к необходимости увеличить поверхность теплоотдачи ТВЭЛов, мощность на циркуляцию и давление газа.

Использование газового теплоносителя в первом контуре ядерной энергетической установке (ЯЭУ) представляет практический интерес по многим причинам. Основные из них таковы: однофазовый теплоноситель – газ позволяет получать высокие температуры на выходе из реактора (до 1000 °С и выше) независимо от давления в нём; высокая температура теплоносителя даёт возможность реализации наиболее эффективных тепловых схем с максимальным термическим КПД цикла; малое макроскопическое поглощение нейтронов газами даёт значительную «экономия нейтронов» в активной зоне и, наконец, при аварийных ситуациях, связанных с разгерметизацией первого контура, газоохлаждаемые реакторы оказываются наиболее безопасными с точки зрения радиационного воздействия на окружающую среду.

Основной недостаток газовых теплоносителей – плохие теплофизические свойства. С этим связаны небольшая удельная мощность реакторов (до ~ 10 МВт) и, как следствие, наиболее габаритные активные зоны; необходимость увеличения давления газа до 5 МПа и выше для снижения доли мощности, затрачиваемой на циркуляцию теплоносителя. Кроме того, относительно небольшой опыт работы с газовым теплоносителем, в особенности с гелием, требует проведения широкого круга исследований и

опытно-конструкторских разработок конструкции реактора и элементов оборудования первого контура.

1.3 Тепловыделяющие элементы реакторов

ТВЭЛЫ и ТВС – наиболее ответственные элементы энергетического реактора.

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

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

- Чем больше отношение поверхности к объему, тем меньше напряженность единицы поверхности ТВЭЛа;
- С возрастанием отношения поверхности к объему ТВЭЛа уменьшаются размеры активной зоны, но одновременно возрастает доля конструкционных материалов, снижаются прочностные и вибрационные характеристики ТВЭЛов;
- Поперечные размеры ТВЭЛов должны уменьшаться с увеличением температуры теплоносителя и тепловых потоков, а также с уменьшением теплопроводности топлива;
- Конструкция и размеры ТВЭЛов существенно влияют на параметры размножающей среды и загрузку топлива в реактор.

Выбор типа ТВЭЛа и его размеров целесообразно проводить по прототипам.

Существует достаточно большое количество конструктивных форм ТВЭЛов. В зависимости от геометрической формы различают ТВЭЛы блочковые, стержневые, кольцевые, трубчатые, пластинчатые, ленточные, шаровые, призматические. Чаще всего применяются ТВЭЛы стержневой и трубчатой

формы (реже пластинчатые) в оболочках из сплавов на основе алюминия, железа, циркония, а высокотемпературные твэлы - в керамической оболочке.

В данной работе выбраны твэлы стержневой формы с наружным охлаждением.

Обычно твэл состоит из топливного сердечника, оболочки, отделяющей сердечник от теплоносителя и замедлителя, и концевых деталей, герметизирующих полость сердечника. Внутри оболочки предусматривают свободные объемы для компенсации разности термических расширений сердечника и оболочки и для сбора газообразных продуктов деления. Для металлического урана этот зазор необходим еще для компенсации увеличения объема при работе. Обычно зазор не превышает $0,05 + 0,2$ мм. Для улучшения теплопередачи зазор заполняют газами или жидкими металлами. Кроме радиального зазора, необходимо предусмотреть газовые полости, в которых накапливаются газообразные продукты деления (в основном, атомы ксенона и криптона). Эти полости могут быть выполнены в виде осевого зазора, расположенного на конце твэла (за пределами активной зоны), или в виде отверстия по центру сердечника, распределенного по длине, либо в форме углублений на стыках таблеток, из которых состоит сердечник.

1.3 Диоксид урана

В начальный период развития ядерной энергетики в реакторах на тепловых нейтронах широко использовалось и продолжает использоваться металлическое урановое топливо. Ныне на всех строящихся и эксплуатируемых АЭС с легководными и тяжеловодными реакторами применяется преимущественно керамическое (оксидное) топливо. Причины этого перехода – несовместимость металлического урана с водой, что будет иметь место в случае разгерметизации твэлов и нестабильность размеров уранового топлива при облучении, особенно в условиях большой глубины выгорания топлива, высоких флюенсов нейтронов и температур.

В последние годы в энергетических реакторах широко используют керамические ядерное топливо. Диоксид урана обладает высокой температурной стойкостью ($T_{пл} = 2800 \text{ }^\circ\text{C}$) и что особенно важно, высокой радиационной стойкостью.

Недостатком двуоксида урана является меньшая по сравнению с металлическим топливом плотность и процентное содержание урана, чрезвычайно низкая теплопроводность.

Последнее обуславливает высокие градиенты температуры, достигающие $400 \text{ }^\circ\text{C}$ на 1 мм, что в конечном итоге влияет на прочностные характеристики ТВЭЛ.

1.4 Графит как замедлитель

Природный графит содержит до 20 % различных примесей, в том числе и бор, хороший поглотитель. Поэтому природный графит непригоден как замедлитель нейтронов. Реакторный графит получают искусственно из смеси нефтяного кокса и каменноугольной смолы. Сначала из смеси прессуют блоки, а затем эти блоки термически обрабатывают при высокой температуре.

Графит имеет плотность $1,6 - 1,8 \text{ г/см}^3$. Он сублимирует при температуре $3800 - 3900 \text{ }^\circ\text{C}$. Нагретый в воздухе до $400 \text{ }^\circ\text{C}$ графит загорается. Поэтому в энергетических реакторах он содержится в атмосфере инертного газа (гелий).

1.5 Хромоникелевая сталь

Оболочки ТВЭЛов работают в трудных условиях при одновременном длительном воздействии высоких температур и полей облучения, тепловых потоков, давления, коррозионного действия теплоносителя, топлива и продуктов деления, в связи с этим к ним предъявляют жесткие требования:

- малое сечение поглощения нейтронов;

– механическая прочность и неизменность формы под действием температурного и радиационного воздействия;

– высокая теплопроводность;

– коррозионная и эрозионная стойкость в теплоносителе и совместимость с ядерным топливом.

Толщину оболочки выбирают, исходя из условий обеспечения достаточной прочности. Она составляет 0,2 – 0,4 мм для стальных и 0,4 – 0,8 мм для циркониевых и алюминиевых оболочек.

Нержавеющие стали обладают высокой механической прочностью, коррозионной стойкостью и хорошими технологическими свойствами.

Наибольшее распространение получили хромоникелевые нержавеющая сталь 1X18Н9Т. Она состоит из Fe, Cr, Ni, Ti и Mn.

Нержавеющая сталь надежно и длительно работает в воде при температурах до 400 °С.

Стали показали хорошую совместимость с различными видами ядерного топлива.

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Очевидно что, на данный момент остро встаёт вопрос о необходимости планирования и организации научно-исследовательских работ. Заметим что, важно не только разработать ту или иную научную тему, но и провести ее анализ с точки зрения ресурсоэффективности и ресурсосбережения, иными словами, необходимо определить затраты на проведение научно-исследовательской работы, продолжительность работ, таким образом определив экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемой в настоящей научно-исследовательской работе ядерной энергетической установки (ЯЭУ).

В ходе выполнения данной работы были определены различные нейтронно-физические параметры ЯЭУ, которая предназначена для производства электроэнергии. Разработка ЯЭУ в силу своей специфики будет иметь своим целевым рынком госкорпорации по атомной энергетике. Примером могут служить такие госкорпорации как Росэнергоатом (Россия), Минэнерго (Беларусь), Энергоатом (Украина) и т.п.

Рынок услуг по разработке ЯЭУ можно сегментировать по множеству критериев, основными из которых являются уровень развития атомной энергетике страны и электрическая мощность установки.

		Электрическая мощность установки		
		До 440 МВт	От 440 МВт до 1000 МВт	От 1000 МВт до 1800 МВт
Уровень развития атомной энергетике	Высокий			
	Средний			
	Низкий			

Рисунок 1 – Карта сегментирования рынка услуг по ЯЭУ

Необходимость для стран с низким развитием атомной энергетики ядерных установок с малыми и средними мощностями, говорит о том, что в стране энергетика в целом может быть как на низком, так и на достаточно высоком уровне. Развитие атомной энергетики могло идти как параллельно развитию традиционной энергетики страны, так и опираясь на огромную базу развития. Аналогична ситуация для стран со средним уровнем развития атомной энергетики.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

В ходе выполнения данной работы был рассмотрен уран-графитовый канальный реактор на тепловых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем, конкурентами которого в принципе будут являться любые ЯЭУ, эксплуатирующиеся с теми же целями что и разрабатываемая, но основными из них, в том числе имеющие близкие технические решения, принимаемые для достижения поставленной цели, будут: водо-водяной корпусный энергетический реактор с водяным теплоносителем (ВВЭР) отечественной разработки, уран-графитовый канальный реактор с водяным теплоносителем (РБМК) отечественной разработки.

Наиболее подходящими для сравнения являются ЯЭУ отечественных разработок, т.к. Россия является одной из лидирующих стран по уровню развития атомной энергетики и именно отечественные разработки востребованы на российском рынке атомной энергии. Основными конкурентами для сравнения являются корпусный водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР) и канальный уран-графитовый реактор с водяным теплоносителем (РБМК). Оценочная карта анализа представлена в таблице 1. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (3.1.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{K1}	B_{K2}	K_{ϕ}	K_{K1}	K_{K2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Стоимость топлива в зависимости от обогащения по изотопу U^{233} .	0,04	4	4	3	0,2	0,16	0,12
2. Стоимость замедлителя	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,2
3. Возможность перегрузки топлива без останова реактора	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
4. Необходимость более высокого давления теплоносителя, а следовательно оборудования для его создания	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
5. Глубина выгорания и возможность её увеличения	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
7. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
9. Надежность	0,15	4	4	5	0,6	0,6	0,75
10. Уровень шума	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
11. Безопасность	0,2	4	4	5			
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	4	4	5	0,04	0,04	0,05
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	1	4	5	0,01	0,04	0,05
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
4. Послепродажное обслуживание	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Итого	1	51	53	55	3,3	3,29	3,42

Отметим, что цены, которые предприятия, вероятно, будут платить за поставку уранового концентрата, составляют только одну треть стоимости

топлива, загруженного в ядерный реактор. Остальное – это, главным образом, стоимость обогащения.

Выше представлен анализ конкурентоспособности ЯЭУ, представленной в данной работе, среди отечественных разработок ВБЭР-300 (Б_{к1}) и АБВ-6 (Б_{к2}). Из анализа видно, что разрабатываемая ЯЭУ имеет довольно большое число преимуществ. Не маловажным фактом является то, что разрабатываемая установка единственная в своем роде и представительства на рынке не имеет.

3.3 SWOT-анализ

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

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта.

Сильными сторонами разрабатываемой ЯЭУ можно назвать следующие свойства и особенности установки:

- доступность и обработанность технологии воды;
- большие удельная и объемная мощности при относительно небольших габаритах и умеренных критических загрузках реактора;
- высокая замедляющая способность воды в сочетании со слабым рассеянием нейтронов водородом при больших энергиях, позволяет обеспечить глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива;
- высокая степень внутренней устойчивости благодаря отрицательному плотностному коэффициенту реактивности.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Слабыми сторонами разрабатываемой ЯЭУ можно назвать следующие свойства и особенности:

- большое сечение поглощения нейтронов, что приводит к использованию обогащенного топлива;
- высокое давление при энергетически приемлемых температурах;
- коррозионная активность и сильное взаимодействие с металлическим топливом, что заставляет применять двуокись урана и нержавеющие конструкционные материалы;
- ограничение тепловых потоков из-за кризиса теплосъема.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

К возможностям данной ЯЭУ можно отнести:

- снижение стоимости электроэнергии;
- предоставление дополнительных рабочих мест;
- расширение производства и мощностей для обеспечения работоспособности ЯЭУ.

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

К угрозам по отношению к ЯЭУ можно отнести:

- природные катаклизмы;
- снижение государственного финансирования развития атомной энергетики и ввода в эксплуатацию новых типов установок;
- диверсионные и террористические действия.

В таблице 6 представлен SWOT-анализ в виде таблицы.

Таблица 2 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. доступность и обработанность технологии воды. С2. большие удельная и объемная мощности при относительно небольших габаритах и умеренных критических нагрузок реактора. С3. высокая замедляющая способность воды в сочетании со слабым рассеянием нейтронов водородом при больших энергиях, позволяет обеспечить глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. большое сечение поглощения нейтронов, что приводит к использованию обогащенного топлива. Сл2. высокое давление при энергетически приемлемых температурах. Сл3. коррозионная активность и сильное взаимодействие с металлическим топливом, что заставляет применять двуокись урана и нержавеющие конструкционные материалы. Сл4. ограничение тепловых потоков из-за кризиса теплосъема.</p>
<p>Возможности: В1.Снижение стоимости электроэнергии. В2.Предоставление рабочих мест. В3.Расширение производства и мощностей для обеспечения работоспособности ЯЭУ</p>	<p>1. Увеличение мощности ЯЭУ приведет к еще более сильному снижению цен на электричество и потребует ввода дополнительных мощностей. 2. Увеличение мощности приведет к увеличению персонала ЯЭУ.</p>	<p>1. Высококвалифицированный персонал повысит качество работы ЯЭУ, безопасность. 2.Дополнительные производства для обеспечения ЯЭУ жидкотеплоносителем.</p>
<p>Угрозы: У1. Природные катаклизмы. У2.Снижение государственного финансирования развития атомной энергетики и ввода в эксплуатацию новых типов установок. У3. Наличие угрозы несанкционированных действий в отношении ЯЭУ.</p>	<p>1. Возможность увеличения мощности влечет за собой привлечение действий террористического и диверсионного характеров. 2. Постоянная работа реактора и возможность увеличения мощности вызывает дополнительный интерес у государства.</p>	<p>1. Отсутствие корпуса у реактора делает его уязвимым перед природными катаклизмами. 2. Использование в качестве теплоносителя жидкого натрия, из-за высокой химической активности при взаимодействии с водой снижает интерес государства к данной ЯЭУ.</p>

Проанализировав характер НТР можно сделать вывод, о том что наиболее оптимальной стратегией выхода разработки на рынок является стратегия совместной предпринимательской деятельности. Совместная

предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями страны-партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей. Данная стратегия выбрана ввиду того, что предприятие, заинтересованное в ЯЭУ на российском рынке, одно (Росэнергоатом). В свою очередь, данное предприятие требует тесного взаимодействия с другими производственными компаниями.

4 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Представленная дипломная работа носит научно-исследовательский характер. Экономическая часть настоящей работы включает в себя рассмотрение комплекса предполагаемых работ, планирование которых осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований была сформирована рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель и дипломник.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный	1	Составление и утверждение научного задания	Бакалавр Руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
Исследование и анализ предметной области	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор метода выполнения работы	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Бакалавр

Продолжение таблицы 3

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Применение выбранного метода к данным	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ результатов работы	Бакалавр
	8	Определение целесообразности проведения НИР	Бакалавр Руководитель
	9	Составление пояснительной записке к ВКР.	Бакалавр
	10	Оформление пояснительной записки к ВКР по ГОСТу.	Бакалавр

4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаях 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. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5}, \quad (4.2.1)$$

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

$t_{мини}$ — 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. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (4.2.2)$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

4.3 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:

$$T_{ki} = T_{p_i} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3.1)$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.3.2)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

Таблица 4 – Временные показатели осуществления комплекса работ

№ работ	Продолжительность работ			Исполнители	t_{pi} , человеко-дни	t_{ki} , человеко-дни
	$t_{\min i}$, человеко-дни	$t_{\max i}$, человеко-дни	$t_{ож i}$, человеко-дни			
1	1	3	2	Б, Р	1	1
2	14	18	16	Б	16	23
3	7	12	9	Б	9	13
4	3	6	4	Б, Р	2	3
5	2	5	3	Б	3	4
6	10	16	12	Б	12	17
7	5	7	6	Б	6	9
8	3	5	4	Б, Р	2	3
9	5	11	7	Б	7	10
10	4	7	5	Б	5	7

Календарный план-график выполнения работ представим в виде таблицы.

Таблица 5 – Календарный план-график выполнения работ

Календарный план-график выполнения работ по теме													
№ работы	Наименование работы	Исполнители	t_{ki} , дни	Продолжительность выполнения работ, дни									
				Март			Апрель			Май			
				1	23	13	3	4	17	9	3	10	7
1	Составление и утверждение ТЗ	Б Р	1	■									
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	23		■								
3	Анализ исходных данных	Б	13			■							
4	Выбор метода выполнения работы	Б Р	3				■						
5	Календарное планирование работ по теме	Б	4					■					
6	Применение выбранного метода к данным	Б	17					■					
7	Анализ результатов работы	Б	9							■			

Продолжение таблицы 5

9	Составление пояснительной записки к ВКР	Б	10							
10	Оформление пояснительной записки к ВКР по ГОСТу	Б	7							
	Руководитель						Бакалавр			

4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

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

- материальные затраты НТИ;
- 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.

4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.4.1)$$

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

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

Π_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 6.

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – студент.

Основные работы для ВКР проводились за персональным компьютером (ноутбуком) в комнате жилого дома. Время, проведенное работой у компьютера, примем равным 900 часам. Мощность ноутбука: 0,9 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле

$$C = \Pi_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 2,7 \cdot 0,9 \cdot 900,0 = 2187 , \quad (4.4.2)$$

где $\Pi_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,7 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 2187 рублей.

Таблица 6 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
1. Бумага	шт.	250	0,4	100
2. Печать на листе А4	шт.	200	1,5	300
3. Карандаш	шт.	1	8	8
4. Ластик	шт.	1	12	12
5. Доступ в интернет	месяц	4	350	1400
6. Учебная литература	шт.	1	340	340
7 Электроэнергия	кВт·ч	810	2,70	2187
Итого				4347

4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы сводится в таблицу 9.

Таблица 7 – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов	Трудоемкость, чел.-дни		Заработная плата, приходящаяся на один чел.-день, тыс. руб.		Всего заработная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.	
	С	Р	С	Р	С	Р
Составление и утверждение технического задания	-	1,80	0,140	1,500	-	2,700
Подбор и изучение материалов по теме	5,20	-			0,728	-
Выбор направления исследований	1,80	1,80			0,252	2,700
Календарное планирование работ по теме	-	3,40			-	5,100
Проведение теоретических расчетов и обоснований	20,80	-			2,912	-
Разработка чертежей	1,80	-			0,252	-
Оценивание правильности полученных характеристик сравнивая их с характеристиками существующего аналога	3,20	1,40			0,448	2,100
Определение целесообразности проведения ОКР	-	1,80	0,140	1,500	-	2,700
Разработка принципиальной схемы	4	-			0,560	-
Выбор и расчет конструкции	11	-			1,54	-
Разработка чертежей основных узлов конструкции	2,80	-			0,392	-
Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	2,20	-			0,308	-
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	3,80	-			0,532	-
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1,80	1,40			0,252	2,100
Представление разработки заинтересованной компании	1	1			0,140	1,500
Итого, руб.:					8,316	18,900

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней (таблица 3.6);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дни (таблица 8).

Таблица 8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: – выходные дни; – праздничные дни.	116	116
Потери рабочего времени: – отпуск; – невыходы по болезни.	50	45
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	204

Месячный должностной оклад работника:

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

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

k_p – районный коэффициент, равный 1,30 (для города Томска).

Тарифная заработная плата Z_{mc} находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда $T_{c_1} = 600$ руб. на тарифный коэффициент k_m и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 9.

Таблица 9 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{mc} , руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	23130	1,30	45103	2357	15	35357
Студент	2800	-	2800	142	53	7565
Итого, руб.:						42922

4.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страхование)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и

медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 27,10%.

Отчисления во внебюджетные фонды рекомендуется представлять в таблице 10.

Таблице 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель
Основная заработная плата, руб.	42922
Дополнительная заработная плата, руб.	5150
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	27,10
Сумма отчислений	13027
Итого, руб.:	13027

4.4.4 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25 – 35% от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

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

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов, равный 30%.

Накладные расходы составят:

$$C_{накл} = 0,30 \cdot (42922 + 5150) = 14421 \text{ руб.}$$

4.4.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	9243
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	42922
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	5150
Отчисления во внебюджетные фонды	13027
Накладные расходы	14421
Бюджет затрат НТИ	86449

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

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

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

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{247\ 0169}{247\ 0169} = 1.$$

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 12).

Таблица 12 – Оценка характеристик исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Оценка
1. Безопасность	0,25	5
2. Удобство в эксплуатации	0,15	4
3. Помехоустойчивость	0,15	3
4. Энергосбережение	0,20	4
5. Надежность	0,20	5
6. Материалоемкость	0,05	3
ИТОГО	1	24

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,05 = 4,25.$$

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

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

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (см. таблицу 16) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} . \quad (70)$$

Таблица 13 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Оценка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,25

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Но т.к. задача имеет довольно строгие условия, решение имеет лишь один вариант.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Разработка NiAl матрицы для иммобилизации радиоактивных отходов методом СВС [Электронный ресурс] / И. О. Луцик [и др.] // VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири : сборник тезисов докладов, 14-16 октября 2015 г., г. Томск / Росатом ; Томская область, Администрация ; Сибирский химический комбинат (СХК) ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", Северский технологический институт (СТИ). — Томск: Изд-во СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. — [С. 53]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

2. Влияние степени разбавления исходной шихты на фазообразование матрицы полученной методом СВС [Электронный ресурс] / В. С. Кузьмин [и др.] // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность : материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2-4 декабря 2015 г., Томск в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) [и др.] ; ред. кол. В. В. Литвак [и др.]. — 2015. — Т. 2. — [С. 405-406]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

3. Технологические аспекты метода СВС при иммобилизации РАО [Электронный ресурс] / Д. В. Посохов [и др.] // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2-4 декабря 2015 г., Томск в 2 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) [и др.] ; ред. кол. В. В. Литвак [и др.]. — 2015. — Т. 2. — [С. 275-277]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

4. Зависимость фазообразования от степени разбавления исходной шихты при иммобилизации РАО методом СВС / [Электронный ресурс] / В. С. Кузьмин [и др.] // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных

технологий Северск, 21-25 марта 2016 г. / Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Северский технологический институт; ред. кол. М.Д. Носков. — 2016. — [С. 35-35а]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

5. Исследование влияния давления прессования на образование алюминидного перовскита полученного методом СВ-синтеза / [Электронный ресурс] / Д. В. Посохов [и др.] // Актуальные проблемы инновационного развития ядерных технологий Северск, 21-25 марта 2016 г. / Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Северский технологический институт; ред. кол. М.Д. Носков. — 2016. — [С. 45-45а]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

6. Разработка мультифазной керамической матрицы на основе перовскита / [Электронный ресурс] / В. С. Кузьмин [и др.] // СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ V Международная молодежная научная школа-конференция Москва 18-23 апреля 2016 года; Тезисы докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2016. – 372 с / Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Физический институт им. П.Н. Лебедева. — 2016. — [С. 61-62]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

7. Разработка матричного материала для иммобилизации радиоактивных отходов в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / [Электронный ресурс] / Д. В. Посохов [и др.] // СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ V Международная молодежная научная школа-конференция Москва 18-23 апреля 2016 года; Тезисы докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2016. – 372 с / Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Физический институт им. П.Н. Лебедева. — 2016. — [С. 81-82]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

8. Estimation of the parameters of self-propagating high-temperature synthesis for obtaining a matrix material based on perovskite ceramics for immobilization of actinide fraction / [Электронный ресурс] / I. O. Lutsik [и др.] // СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ V Международная молодежная научная школа-конференция Москва 18-23 апреля 2016 года; Тезисы докладов. Часть 2. М.: НИЯУ МИФИ, 2016. – 372 с / Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Физический институт им. П.Н. Лебедева. — 2016. — [С. 62-63]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

9. Определение степени разбавления матрицы на основе Ni_2Al_3 предназначенных для иммобилизации РАО в режиме технологического горения [Электронный ресурс] / В. С. Кузьмин [и др.] // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать вторая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (25—26 февраля 2016 г., Москва): Тез. докл. В 3 т. — 356 с. / НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» [и др.]. — 2016. — Т. 3. — [С. 20]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

Режим доступа:

10. Влияние давления прессования на фазообразования матрицы на основе алюминид никеля [Электронный ресурс] / Д. В. Посохов [и др.] // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать вторая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов (25—26 февраля 2016 г., Москва): Тез. докл. В 3 т. — 356 с. / НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ» [и др.]. — 2016. — Т. 3. — [С. 21]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.

11. Включение никелиевой добавки в перовскитоподобную матрицу на основе алюминия [Электронный ресурс] / В. С. Кузьмин [и др.] // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. —

Томск, 2016. – 262 с. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2016. — [С. 73]. — Заглавие с титульного экрана. — Свободный доступ из сети Интернет. — Adobe Reader.