

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 ВВЭР

УДК 621.039.536

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2В	Мухнуров Илья Аликович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Чурсин С.С.			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.х.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры прикладной физики	Гоголева Т. С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	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.
Р2	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.
Р3	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.
Р4	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.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	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.

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 разработке 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	Мухнуров Илья Аликович

Тема работы:

Нейтронно-физический расчет реактора типа ВВЭР	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	№3453/с от 01.06.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	24.06.2016
--	------------

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 3000 МВт; - ядерное горючее диоксид урана; - обогащение урана 4%; - температура на входе 289 °С; - температура на выходе 319 °С; - твэлы стержневые с наружным охлаждением; - материалы оболочек твэлов цирколой-1.
<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; - расчёт изменения нуклидного состава.
<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	Сечина А.А.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
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
Ассистент каф. ФЭУ	Чурсин Станислав Сергеевич	-		16.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Мухнуров Илья Аликович		16.05.2016

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Мухнуров Илье Аликовичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – 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.
<i>2. 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:

<i>1. 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.
<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

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	Мухнуров Илье Аликович		16.05.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Мухнурову Илье Аликовичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<ul style="list-style-type: none"> – стоимость расходных материалов; – стоимость расхода электроэнергии; – норматив заработной платы.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<ul style="list-style-type: none"> – отчисления во внебюджетные фонды; – расчет дополнительной заработной платы.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<ul style="list-style-type: none"> – потенциальные потребители результатов исследования; – анализ конкурентных технических решений.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<ul style="list-style-type: none"> – структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; – бюджет научно-технического исследования.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	<ul style="list-style-type: none"> – определение интегрального финансового показателя разработки; – определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; – определение интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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	Сечина Ася Александровна	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Мухнуров Илье Аликович		

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:	24.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
19.05.2016	<i>Выбор конструктивной схемы</i>	
26.05.2016	<i>Расчет критических параметров проектируемого реактора</i>	
02.06.2016	<i>Расчет характеристик «горячего реактора», многогрупповой нейтронно-физический расчет</i>	
09.06.2016	<i>Расчет эффектов реактивности</i>	
24.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ФЭУ	Чурсин Станислав Сергеевич	-		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 93 с., 6 рис., 18 табл., 15 источников, 10 прил., 2 чертежа, 1 спецификация.

Ключевые слова: ядерный реактор; нейтронно-физический расчет; многогрупповой расчет; отравление; выгорание.

Объектом исследования является ядерный реактор мощностью 3000 МВт с топливом UO_2 и обогащением 4 %.

Цель работы – выполнение нейтронно-физического расчёта реактора, состоящего в физическом обосновании конструкции и определении совокупности физических параметров, удовлетворяющих поставленным требованиям.

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

В результате исследования были получены нейтронно-физические характеристики реактора заданного материального состава, оценено влияние нуклидного состава на воспроизводящие и размножающие свойства активной зоны реактора, рассчитано отравление реактора, оценена финансовая составляющая работы и описаны внешние факторы, которые влияли на работу.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: реактор типа ВВЭР, тепловая мощность – 3000 МВт, ядерное горючее – UO_2 , обогащение 4 %, теплоноситель – вода, ТВЭЛы – стержневые с наружным охлаждением, материал оболочек ТВЭЛОВ – цирколой-1.

Область применения: ядерные реакторы.

Обозначения и сокращения

ЯТ – ядерное топливо;

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ТКР – температурный коэффициент реактивности;

ТЭР – температурный эффект реактивности;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВС – тепловыделяющая сборка.

Оглавление

Введение	16
1 Обзор литературы	17
1.1 Водо-водяные реакторы	17
1.2 Конструкция ВВЭР-1000	17
1.3 Достоинства и недостатки ВВЭР	18
2 Нейтронно-физический расчёт реактора	19
2.1 Нейтронно-физический расчёт «холодного» реактора	19
2.1.1 Предварительный расчёт	19
2.1.2 Расчёт концентраций	22
2.1.3 Расчёт макросечений	23
2.1.4 Расчёт долей материалов в ячейке	26
2.1.5 Расчёт коэффициента размножения	27
2.1.6 Оптимизация параметров ячейки	32
2.2 Расчет «горячего» реактора	33
2.3 Многогрупповой расчет, спектр и ценности нейтронов в активной зоне	37
2.3.1 Пересчет концентраций	38
2.3.2 Многогрупповой расчет	38
3 Расчёт нуклидного состава	44
3.1 Выгорание ядерного топлива	44
3.2 Коэффициент воспроизводства	46
3.3 Отравление реактора	46
3.4 Нейтронно-физический расчёт в программе WIMS	49
3.5 Распределение плотности потока нейтронов	49
3.6 Температурные коэффициенты реактивности	50
3.7 Коэффициент воспроизводства	51
3.8 Выгорание ядерного топлива	51
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	53
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	53
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	53

4.1.2 SWOT-анализ	55
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	58
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования	58
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ	59
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования	60
4.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	62
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	62
4.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы	63
4.4.3 Дополнительная заработная плата	65
4.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды	66
4.4.5 Контрагентные расходы	66
4.4.6 Накладные расходы	67
4.5 Формирование бюджета затрат НИП	67
4.6 Определение эффективности исследования	68
5 Социальная ответственность	70
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	70
5.2 Мероприятия по снижению уровней опасного и вредного воздействия	72
5.2.1 Технические мероприятия	72
5.3 Условия безопасной работы	74
5.4 Электробезопасность	76
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	77
Заключение	79
Список использованных источников	80
Приложение А	82
Приложение Б	83
Приложение В	84
Приложение Г	85
Приложение Д	88
Приложение Е	91
Приложение Ж	92

Приложение 3

93

Приложение И

94

Введение

В настоящее время развитие атомной энергетики не вызывает сомнения. Источники углеводородного топлива постепенно иссякают, а освоение новых месторождений обходится все дороже и дороже. Из-за высокой потребности в энергии многие современные котельные на основе углеводородного топлива постепенно перестают удовлетворять требованиям экологической безопасности.

Практически все технологии по производству электроэнергии оказывают техногенное воздействие на природу. Однако получение энергии на атомных электростанциях является одним из самых перспективных и безопасных видов в этой отрасли. Процент электроэнергии, которую вырабатывают АЭС, растет во многих странах с каждым годом.

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

Для достижения цели необходимо выполнить следующие задачи:

- выбор конструктивной схемы реактора и выполнение оценочного теплового расчета;
- оценка характеристик «холодного» и «горячего» реактора;
- многогрупповой расчет и определение параметров двухгруппового расчета;
- расчёт изменения нуклидного состава.

1 Обзор литературы

1.1 Водо-водяные реакторы

Реактор ВВЭР предназначен для выработки тепловой энергии в составе реакторной установки АЭС. Данный тип реактора является водо-водяным энергетическим реактором корпусного типа. Теплоносителем и замедлителем в реакторе является химически обессоленная вода с борной кислотой, концентрация которой изменяется в процессе эксплуатации. При прохождении через тепловыделяющую сборку (ТВС) теплоноситель нагревается за счет реакции деления ядерного топлива. Теплоноситель поступает в реактор принудительно через входные патрубки корпуса [1].

1.2 Конструкция ВВЭР-1000

За основу рассчитываемого реактора был взят ВВЭР-1000, тепловая мощность которого равна 3000 МВт. Активная зона ВВЭР-1000 имеет размеры $D = 3120$ мм, $H = 3550$ мм и состоит из 163 шестигранных циркониевых ТВС с размером под ключ 236 мм. В каждой сборке закреплено 312 тепловыделяющих элементов с шагом 12,75 мм в гексагональной решётке. Толщина оболочки 0,65 мм, диаметр твэла 9,1 мм, длина 3200 мм, оболочка из циркониевого сплава с 1 % ниобия, диаметр сердечника 7,57 мм, обогащение до 5 %.

Принудительная циркуляция теплоносителя осуществляется по четырем замкнутым петлям 1 контура за счет работы главных циркуляционных насосов. Вода 1 контура, охлажденная в парогенераторах, поступает в реактор через нижний ряд напорных патрубков, опускается по кольцевому зазору между корпусом и шахтой и затем, пройдя через верхние отводящие патрубки снизу-вверх, через активную зону, выходит из реактора. [2]

Корпус реактора изготавливается из высокопрочной низколегированной стали. На его внутреннюю поверхность наносится антикоррозийная восьмимиллиметровая наплавка из нержавеющей стали. Толщина

цилиндрической части корпуса без наплавки составляет 192,5 мм, масса корпуса – 324,4 т. Корпус реактора работает в очень жёстких условиях: высокие давление и температура теплоносителя, мощные потоки радиоактивного излучения, значительные скорости теплоносителя, который даже при высокой степени чистоты является коррозионно-активной средой.

1.3 Достоинства и недостатки ВВЭР

ВВЭР имеет следующие важные достоинства:

- доступность и отработанность технологии воды;
- большие удельная и объёмная мощности при относительно небольших габаритах и умеренных критических нагрузках реактора;
- возможность применения одноконтурной схемы с подачей пара теплоносителя первого контура в силовую установку;
- 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.

Вместе с тем ВВЭР обладают известными недостатками, присущими воде:

- 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 кризисом теплосъёма [3].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является ядерная энергетическая установка, целью которой является производство электроэнергии. Целевым рынком данного исследования несомненно будут являться государственный корпорации по энергетике, а именно по атомной энергетике. Примером могут служить такие госкорпорации как Росэнергоатом (Россия), Минэнерго (Беларусь) и т.п.

Сегментировать рынок услуг по разработке ядерной энергетической установки можно по следующим критериям: уровень развития атомной энергетики страны, электрическая мощность установки. Карта сегментирования представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Карта сегментирования рынка услуг по ЯЭУ

		Электрическая мощность установки		
		До 440 МВт	От 440 МВт до 1000 МВт	От 1000 МВт до 1800 МВт
<i>Уровень развития атомной энергетики</i>	Высокий			
	Средний			
	Низкий			

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе выполнения данной работы был рассмотрен водо-водяной корпусный энергетический реактор с водяным теплоносителем (ВВЭР), конкурентами которого 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: уран-графитовый канальный реактор на тепловых нейтронах с

жидкометаллическим теплоносителем, уран-графитовый каналный 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 каналный уран-графитовый реактор с водяным теплоносителем (РБМК). Оценочная карта анализа представлена в таблице 6. 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:

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

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_ϕ	$B_{к1}$	$B_{к2}$	K_ϕ	$K_{к1}$	$K_{к2}$
1	2	5	4	3	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Стоимость топлива в зависимости от обогащения по изотопу U^{235} .	0,04	3	4	5	0,12	0,16	0,2
2. Стоимость замедлителя	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
3. Возможность перегрузки топлива без останова реактора	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
4. Необходимость более высокого давления теплоносителя, а следовательно оборудования для его создания	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2

5. Глубина выгорания и возможность её увеличения	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
7. Удобство в эксплуатации	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
9. Надежность	0,15	5	4	4	0,75	0,6	0,6
10. Уровень шума	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
11. Безопасность	0,2	5	4	4			
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	5	4	4	0,05	0,04	0,04
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	5	4	1	0,05	0,04	0,01
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
4. Послепродажное обслуживание	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Итого	1	55	53	51	3,42	3,29	3,3

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 РБМК-1500 ($B_{к1}$) и РБМК-1000 ($B_{к2}$). Из анализа видно, что разрабатываемая ЯЭУ имеет довольно большое число преимуществ, но в основном показатели разрабатываемой ЯЭУ похожи на показатели для отечественного РБМК-1500 ($B_{к1}$). Не маловажным фактом является то, что разрабатываемая установка единственная в своем роде и представительства на рынке не имеет.

4.1.2 SWOT-анализ

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

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 нагрузках 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.

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 7 представлен SWOT-анализ в виде таблицы.

Таблица 7 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны: С1. доступность и обработанность технологии воды. С2. большие удельная и объемная мощности при относительно небольших габаритах и умеренных критических нагрузках реактора. С3. высокая замедляющая способность воды и слабое рассеяние нейтронов водородом С4. высокая степень внутренней устойчивости благодаря отрицательному плотностному коэффициенту реактивности.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. большое сечение поглощения нейтронов Сл2. высокое давление. Сл3. коррозионная активность воды 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. 2. Дополнительные производства для обеспечения ЯЭУ жидкометаллическим теплоносителем.</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. Возникновение аварии поставит снизит интерес к проектам подобного рода.</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.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 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 8.

Таблица 8 – 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
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

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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 $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.2)$$

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

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4.3)$$

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

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

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

4.2.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.5)$$

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.

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 104 - 10} = 1,45,$$

Таблица 9 – 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	$t_{ож i}$, человек-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 представлен в таблице 9.

Календарный план-график представлен в приложении И

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:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} , \quad (4.6)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 10.

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

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 2,7 \cdot 0,9 \cdot 900,0 = 2187, \quad (4.7)$$

где $C_{эл}$ – 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 10 – 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	450	1800
6. Учебная литература	шт.	1	340	340
7 Электроэнергия	кВт·ч	810	2,70	2187
Итого				4747

4.4.2 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.

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

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.8)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{одн}} \cdot T_p, \quad (4.9)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d}, \quad (4.10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) k_p, \quad (4.11)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

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

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

Пример расчета заработной платы для руководителя:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) k_p = 23264,86 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 45366,48 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d} = \frac{45366,48}{21} = 2160,31 \text{руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2160,31 \cdot 5 = 10801,55 \text{руб.}$$

Таблица 11 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб	k _p	З _м , руб	З _{дн} , руб	T _p , дни	З _{осн} , руб
Руководитель	23264,86	1,3	45366,48	2160,31	5	10801,55
Бакалавр	3125	0	3125	154,03	63	9703,89
ИТОГО						20505,44

4.4.3 Дополнительная заработная плата

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.12)$$

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

Таблица 12 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	Основная ЗП,руб	Дополнительная ЗП,руб
Руководитель (аспирант)	10801,55	1620,23
Бакалавр	9703,89	1455,58
ИТОГО		3075,81

4.4.4 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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (4.13)$$

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 – 27,1%

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 14.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная ЗП, руб	Дополнительная ЗП, руб
Руководитель	10801,55	1620,23
Бакалавр	9703,89	1455,58
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	–
ИТОГО		4095,56

4.4.5 Контрагентные расходы

Контрагентные расходы включают в себя затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями.

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работа и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками. Контрагентные расходы составляют 10% от основной и дополнительной заработной платы. В данном дипломном проекте таких затрат нет.

4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.14)$$

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

$$Z_{\text{накл}} = (10801,55 + 1620,23) \cdot 0,30 = 3726,53 \text{ руб.}$$

4.5 Формирование бюджета затрат НИП

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

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 15.

Таблица 14 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Материальные затраты НТИ	4,747
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	20,505
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3,076
4. Отчисления во внебюджетные фонды	4,096
5. Накладные расходы	3,554
Бюджет затрат НТИ	35,978

4.6 Определение 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 финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.15)$$

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).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{p1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{30509}{30509} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.16)$$

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 15).

Таблица 15 — Оценка характеристик исполнения проекта

Объект исследования Критерии	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

$$I_{p-\text{исп}1} = 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,05 = 4,25.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (4.17)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см.табл.17) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (4.18)$$

Таблица 16 – 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

Список использованных источников

1. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07.
2. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.0.002-74; введ. 1976-01-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2002.
3. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988.
4. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999.
5. Бойко В.И., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В., Колпаков Г.Н. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора на тепловых нейтронах: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет, 2002. – 192 с.
6. Бартоломей Г.Г., Бать Г.А., Байбаков В.Д., Алтухов М.С. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
7. Гордеев И.В. Справочник по ядерно-физическим константам для расчета реакторов. – Москва: Атомиздат, 1960. – 280 с..
8. Абагян Л.П. Групповые константы для расчета ядерных реакторов и защиты: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 137 с.
9. Колпаков Г.Н., Кошелев Ф.П., Шаманин И.В. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора на тепловых нейтронах. Часть I: Учебное пособие. – Томск: Издательство ТПУ, 1997. – 168 с.
10. Физика и расчет ЯЭУ. Курсовая работа. / Мацаков Р.И. – Томск; 2005.
11. Андрушечко С.А., Афров А.М., Васильев Б.Ю., Генералов В.Н., Косоуров К.Б., Семченков Ю.М., Украинцев В.Ф. АЭС с реактором типа ВВЭР-

1000: От физических основ эксплуатации до эволюции проекта – М.: Логос, 2010, с. 471.

12. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. Физические величины: Справочник . – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

13. Скворцов Ю.В. Экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

14. Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебное пособие. – Томск: Томский политехнический университет, 2014. – 36 с.

15. Самойлов О.Б., Усынин Г.Б., Бахметьев А.М. Безопасность ЯЭУ Учебное пособие. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 278 с.