

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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Нейтронно-физический расчет реактора типа ВВЭР

УДК 621.039.536

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3В	Селевич Сергей Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ФЭУ ФТИ	Селиваникова О.В.	Старший преподаватель		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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.

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

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А3В	Селевич Сергею Викторовичу

Тема работы:

Нейтронно-физический расчет реактора типа ВВЭР	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	16.02.2017 №958/с

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

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.).	- Тепловая мощность 1800 [МВт] - Ядерное горючее UO_2 - Обогащение урана 3,6% - Температура на входе 294,3 [°C] - Температура на выходе 322,7 [°C] - ТВЭЛы стержневые с наружным охлаждением - Материалы оболочек ТВЭЛОВ Zr + 1%Nb
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).	- Нейтронно-физический расчет «холодного» реактора - Нейтронно-физический расчет «горячего» реактора - Многогрупповой расчет - Определение длительности кампании ядерного топлива - Расчёт нуклидного состава (в результате отравления) - Многогрупповой расчет с использованием программы WIMS
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	- Презентация - Чертеж ячейки

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В.
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	08.05.2017
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ФЭУ ФТИ	Селиваникова О.В.	Старший преподаватель		08.05.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3В	Селевич Сергей Викторович		08.05.2017

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A3B	Селевич Сергею Викторовичу

Институт	ФТИ	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>	1. Материальные затраты – 120,00 руб.; 2. Заработная плата – 13982,51 руб.; 3. Бюджет затрат НИИ – 19149,75 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	1. Тариф на электроэнергию – 5,80 руб. за 1 кВт·ч.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	1. Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 27,1%; 2. Районный коэффициент – 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Сравнения конкурентных технических решений.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	– Иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – Определение трудоемкости выполнения работ.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Бюджет научно – технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной заработной платы исполнителей темы; – отчисления на социальные нужды; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Бюджет НИ</i>
4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	8.05.2017
---	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		8.05.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3В	Селевич Сергей Викторович		8.05.2017

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А3В	Селевич Сергею Викторовичу

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А3В	Селевич Сергей Викторович		

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 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.05.2017	<i>Выдача задания</i>	
09.05.2017	<i>Выбор конструктивной схемы</i>	
12.05.2017	<i>Расчет критических параметров проектируемого реактора</i>	
19.05.2017	<i>Расчет характеристик «горячего реактора», многогрупповой нейтронно-физический расчет</i>	
26.05.2017	<i>Отравление реактора</i>	
08.06.2017	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. ФЭУ ФТИ	Селиваникова О.В.	Старший преподаватель		08.05.2017

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н., доцент		08.05.2017

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 103 с., 22 рис., 24 табл., 26 источников, 6 прил., 1 чертеж, 1 спецификацию.

Ключевые слова: ядерный реактор; нейтронно-физический расчет; многогрупповой расчет; спектр нейтронов; отравление; финансовый менеджмент; социальная ответственность.

Объектом исследования является водо-водяной энергетический реактор тепловой мощностью 1800 МВт.

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, на основании которых были получены таблицы и построены графики; произведен расчет финансовой составляющей работы, описаны факторы, влияющие на выполнение работы.

В результате исследования были получены нейтронно-физические характеристики реактора заданного материального состава, оценены размеры активной зоны, рассчитаны коэффициенты размножения «холодного» и «горячего» реактора, произведен многогрупповой расчет.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ядерный реактор типа ВВЭР, тепловая мощность 1800 МВт, ядерное горючее UO_2 , обогащение 3,6%, в качестве конструкционных материалов – сталь $\text{Zr} + 1\%\text{Nb}$.

Область применения: ядерные реакторы.

Определения и сокращения

Ядерный реактор – устройство, предназначенное для организации управляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления, сопровождаемой выделением энергии.

Кампания ядерного реактора – время работы реактора без перегрузки топлива.

Кампания ядерного топлива – время работы топлива в пересчете на полную мощность реактора; время пребывания топлива в активной зоне 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.

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ТКР – температурный коэффициент реактивности;

ТЭР – температурный эффект реактивности;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка.

Оглавление

Введение.....	15
1 Особенности конструкции ядерного реактора типа ВВЭР.....	16
1.1 Общие сведения.....	16
1.2 Преимущества и недостатки ВВЭР.....	17
1.3 Конструкция топливных кассет и твэлов ВВЭР.....	18
1.4 Ядерное топливо, применяемое в ВВЭР.....	20
2 Нейтронно-физический расчет реактора.....	22
2.1 Предварительный тепловой расчет.....	22
2.2 Расчет «холодного» реактора.....	24
2.3 Оптимизация параметров ячейки.....	32
2.4 Расчет «горячего» реактора.....	34
2.5 Многогрупповой расчет.....	37
2.6 Отравление реактора.....	47
2.7 Многогрупповой расчет и определение спектра нейтронов с использованием программы WIMS-D4.....	56
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	61
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	61
3.2 Анализ конкурентных технических решений.....	62
3.3 SWOT-анализ.....	64
3.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	67
3.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	75
4 Социальная ответственность.....	79
4.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	79
4.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ.....	81
4.3 Условия безопасной работы.....	84
4.4 Электробезопасность.....	86
4.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	87

Заключение	90
Список использованных источников	92
Приложение А	95
Приложение Б	97
Приложение В.....	98
Приложение Г	99
Приложение Д.....	101
Приложение Е.....	103

Введение

Нейтронно-физический расчет реактора проводится для физического обоснования конструкции и определения совокупности физических параметров реактора, удовлетворяющего поставленным требованиям.

После выбора конструктивной схемы реактора, а также обоснования такого выбора, является необходимым проведение оценочного теплового расчета. По результатам данного расчета определяются размеры активной зоны.

Затем необходимо рассчитать спектры нейтронов в 26-групповом диффузионном приближении, уточняя тем самым величину эффективного коэффициента размножения и запаса реактивности.

Расчет изотопного состава во времени позволит определить длительность кампании ядерного топлива в реакторе. Кроме того, следует провести оценку отравления реактора.

Целью данной работы является проведение нейтронно-физического расчета реактора типа ВВЭР тепловой мощностью 1800 МВт.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести нейтронно-физический расчет «холодного» реактора и его оптимизацию;
- произвести нейтронно-физический расчет «горячего» реактора;
- выполнить многогрупповой расчет с получением спектра нейтронов;
- определить длительность кампании ядерного топлива;
- оценить отравление реактора;
- провести многогрупповой расчет с использованием программы WIMS и сравнить полученные результаты.

1 Особенности конструкции ядерного реактора типа ВВЭР

1.1 Общие сведения

В мире существует огромное разнообразие возможных видов реакторов, однако среди экономически выгодных и технически разработанных типов реакторов для АЭС является водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР).

В настоящий момент построено и находится в эксплуатации большое количество данных реакторов. Конструктивно ВВЭР относятся к корпусным реакторам, т.е. все узлы реактора находятся внутри прочного корпуса, который представляет собой вертикальный толстостенный цилиндрический сосуд с днищем, закрываемый объемной герметичной крышкой сверху. Внутри корпуса располагается цилиндрическая обечайка – шахта, которая служит для размещения в ней активной зоны и организации потока теплоносителя внутри реактора[1]. В верхней части боковой цилиндрической поверхности корпуса располагаются патрубки, служащие для подвода и отвода теплоносителя, среди которых имеются патрубки для аварийного подвода теплоносителя на случай разгерметизации первого контура и один патрубок для контрольно-измерительных приборов (КИП). Внутренняя часть и части фланца и крышки покрыты антикоррозионной наплавкой.

Активная зона реактора набирается из шестигранных кассет, представляющих собой уран-водную решетку[1], и устанавливаемых практически вплотную друг к другу. В кассетах по треугольному шагу устанавливаются гладкие цилиндрические твэлы, собираемые в ТВС. Одна или две трубки, в которых должны быть расположены твэлы, остаются пустыми. Внутри них размещаются термодатчики – измерители температуры воды, а также детекторы энерговыделения.

Регулирование мощности реактора осуществляется системой управления и защиты (СУЗ) изменением положения в активной зоне кластеров

из стержней с поглощающими элементами (трубки с карбидом бора), а также изменением концентрации борной кислоты в воде первого контура[2].

1.2 Преимущества и недостатки ВВЭР

Преимущество использования водо-водяных реакторов в ядерной энергетике может быть объяснено целым рядом различных причин.

Прежде всего, стоит сказать о том, что вода оказалась наиболее подходящей для использования как в качестве теплоносителя, так и в качестве замедлителя. Более того, вода является доступным и недорогим материалом, а ее свойства отлично изучены ввиду ее широкого применения в обычной теплоэнергетике.

Вода в качестве замедлителя имеет очень высокую замедляющую способность, в связи с чем ядерные реакторы типа ВВЭР являются довольно компактными в сравнении с другими видами реакторов на тепловых нейтронах, а также они обладают сравнительно высоким удельным энерговыделением с единицы объема активной зоны, благодаря чему может быть получена большая мощность. Более того, высокая замедляющая способность воды в сочетании со слабым рассеиванием нейтронов водородом при больших энергиях позволяет обеспечить глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива[3].

Еще одним достоинством водо-водяных реакторов является их высокая устойчивость и саморегулируемость, которая обеспечивается за счет отрицательного температурного плотностного коэффициента реактивности вследствие существенного снижения с ростом температуры плотности воды.

Также стоит отметить возможность применения одноконтурной схемы с подачей пара теплоносителя первого контура в силовую установку[3].

Несмотря на вышеуказанные преимущества, ВВЭР обладают известными недостатками, присущими используемой в них воде.

Высокое поглощение нейтронов водой отрицательно сказывается на балансе нейтронов в активной зоне, что вынуждает использовать только обогащенный уран.

Сильное замедление нейтронов в воде может привести к большим локальным неравномерностям распределения энерговыделения[4].

Вода обладает высокой коррозионной активностью и сильным взаимодействием с металлическим топливом, что заставляет применять двуокись урана и нержавеющие конструкционные материалы, а также требует специальной и дорогостоящей системы водоподготовки, что в совокупности заметно сказывается на эксплуатационных затратах.

К одним из недостатков водо-водяных реакторов также можно отнести высокое давление, которое необходимо обеспечить для получения приемлемой температуры.

1.3 Конструкция топливных кассет и твэлов ВВЭР

Твэлы и ТВС – наиболее ответственные элементы энергетического реактора.

Кассетой называется строго определенное количество твэлов, конструктивно объединенных между собой, с обеспечением условий эффективного тепловыделения и теплоотдачи, а так же оперативной замены, предусмотренной правилами эксплуатации[3].

Кассета состоит из следующих частей:

- рабочая часть (твэлы, свободно размещенные в узлах дистанционирующих решеток);
- несущий каркас (состоит из продольных труб или одной трубы с поперечными дистанционирующими решетками, а размеры и конструкция каркаса определяется расчетной долей конструкционного материала в активной зоне реактора);

- концевые детали (головка и хвостовик, служащие для захвата при перегрузке и крепления в активной зоне);
- тонкостенный чехол (служит для направления движения теплоносителя и позволяет регулировать его расход по кассетам, если требуется).

Если кассета размещена в отдельном канале, то чехол не требуется, и она представляет собой тепловыделяющую сборку (ТВС).

Несущий каркас ТВС может быть выполнен в виде центральной несущей трубы с закрепленными на ней дистанцирующими решетками. В трубе при этом могут размещаться датчики СУЗ, либо дросселирующие вставки, регулирующие расход теплоносителя в межтвэльном пространстве[3].

Твэлы (тепловыделяющие элементы) являются главными конструктивными элементами активных зон гетерогенных реакторов, содержащих ядерное топливо.

В твэлах происходит деление тяжелых ядер, сопровождающееся выделением энергии, которая затем преобразуется в тепловую и передается теплоносителю.

В общем случае в твэлах имеется топливный сердечник, оболочка и концевые детали. Иногда на твэлах располагают дистанционирующие элементы, с помощью которых обеспечиваются необходимые зазоры между соседними твэлами или между твэлами и каналами, в которых они размещены. В большинстве же случаев дистанционирующие элементы относят к конструкциям ТВС.

Топливный сердечник содержит делящиеся или воспроизводящие нуклиды. Оболочка твэла вместе с концевыми деталями образует герметичный объем, внутри которого расположен топливный сердечник. Оболочка защищает топливный сердечник от контакта с теплоносителем, и тем самым топливный сердечник предохраняется от коррозионного и других воздействий теплоносителя. Помимо этого, происходит предотвращение попадания продуктов деления, образующихся внутри твэлов, в теплоноситель.

Конструкция и материалы твэлов и ТВС должны обеспечивать их надежную работу при высоких плотностях энерговыделения и при больших глубинах выгорания. При выборе конструкции твэла и его размеров, необходимо учитывать следующее:

- чем больше отношение поверхности к объему, тем меньше напряженность единицы поверхности твэла[3];
- с возрастанием отношения поверхности к объему твэла уменьшаются размеры активной зоны, но одновременно возрастает доля конструкционных материалов, снижаются прочностные и вибрационные характеристики твэл[3];
- поперечные размеры твэлов должны уменьшаться с увеличением температуры теплоносителя и тепловых потоков, а также с уменьшением теплопроводности топлива[3];
- конструкция и размеры твэлов существенно влияют на параметры размножающей среды и загрузку топлива в реактор[3].

С водяным теплоносителем одними из перспективных конструкций реактора являются цирконий и его сплавы. Эти материалы удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к оболочкам твэлов.

1.4 Ядерное топливо, применяемое в ВВЭР

В настоящее время диоксид урана (UO_2) является самым распространенным и хорошо освоенным в промышленном производстве видом керамического ядерного топлива, используемого на АЭС. Это топливо применяется почти во всех современных водно-охлаждаемых реакторах, включая кипящие и тяжеловодные, а также реакторы на быстрых нейтронах.

Изделия из урана в ядерных реакторах в течение длительного времени находятся в жестких условиях при повышенных температурах. Под действием коррозии, радиации, в результате термических напряжений происходит

изменение механической прочности конструкции твэлов[5]. Этому способствуют следующие процессы:

- большой рост ползучести облученного урана даже под малой нагрузкой, в том числе под действием собственного веса[5];
- «охрупчивание» облученного урана, не снимаемое даже отжигом[5];
- «радиационный рост» урана, приводящий к изменению формы твэла в процессе работы реактора: по мере выгорания урана его плотность уменьшается, накапливаются более легкие продукты деления (увеличивается объем)[5];
- при больших выгораниях и высоких температурах развивается газовое распухание под действием газообразных продуктов деления урана (аргон, криптон)[5].

По этим причинам чистый металлический уран не применяется.

Основным достоинством двуокиси урана является его предельно допустимая температура, которая составляет около 2800 °С. Более того, UO_2 обладает высокой радиационной стойкостью при больших потоках нейтронов и химической устойчивостью в широком диапазоне температур по отношению к веществам, применяемых в качестве замедлителя и теплоносителя.

Серьезным недостатком диоксида урана является его меньшая по сравнению с металлическим топливом плотность и процентное содержание урана, а также чрезвычайно низкая теплопроводность, которая резко снижается с увеличением температуры, что приводит к большим градиентам температур по сечению топливной таблетки и, в конечном итоге, влияет на прочностные характеристики твэла.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время помимо разработки научной темы остро встает вопрос о необходимости проведения анализа с точки зрения ресурсосбережения и ресурсоэффективности. При планировании, организации и проведения научно-исследовательских работ следует определить их затраты и продолжительность, определив таким образом экономическую эффективность и конкурентоспособность разрабатываемой в данной научно-исследовательской работе ядерной энергетической установки.

В данной работе были определены нейтронно-физические параметры ядерной энергетической установки ВВЭР-640. Целевым рынком установки являются госкорпорации по атомной энергетике, такие как Росэнергоатом (Россия), Минэнерго (Беларусь), Энергоатом (Украина) и т.д.

Сегментировать рынок услуг по разработке ядерной энергетической установки можно по множеству критериев, основными из которых является электрическая мощность установки и АЭС, на которых действуют ВВЭР. Карта сегментирования рынка услуг по ЯЭУ представлена на рисунке 19.

		Электрическая мощность установки		
		440 МВт	От 440 МВт до 1000 МВт	От 1000 МВт и выше
Российские АЭС, в состав которых	Балаковская			
	Калининская			
	Кольская			
	Нововоронежская			
	Ростовская			

Рисунок 19 – Карта сегментирования рынка услуг по ЯЭУ

По составленной карте сегментирования рынка видно, что на данный момент в России наиболее распространенным реактором среди водо-водяных является ВВЭР с мощностью от 1000 МВт и выше. Разрабатываемая ЯЭУ ВВЭР-640 не реализована на практике и находится лишь на стадии проектирования, однако такая установка средней мощности является довольно перспективной для применения в отдаленных регионах.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

В ходе выполнения данной работы был рассмотрен водо-водяной корпусный энергетический реактор с водяным теплоносителем тепловой мощностью 1800 МВт (ВВЭР-640), конкурентами которого могут являться любые ядерные энергетические установки, эксплуатирующиеся с теми же целями, что и разрабатываемая. Однако основными из них, в том числе имеющие близкие технические решения, принимаемые для достижения поставленной цели, будут водо-водяной корпусный реактор с водяным теплоносителем ВВЭР-1000 и уран-графитовый канальный реактор с водяным теплоносителем РБМК-1000 отечественной разработки.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 8. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i, \quad (88)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл i -го показателя.

Таблица 8 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Возможность перегрузки топлива без останова реактора	0,1	1	5	1	0,1	0,5	0,1
2. Глубина выгорания, возможность её увеличения	0,15	4	3	5	0,6	0,45	0,75
3. Удобство в эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
4. Надежность	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
5. Уровень шума	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
6. Безопасность	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Стоимость топлива в зависимости от его обогащения по изотопу U ²³⁵	0,05	4	5	3	0,2	0,25	0,15
2. Стоимость замедлителя	0,05	5	3	5	0,25	0,15	0,25
3. Конкурентоспособность ЯЭУ	0,02	4	4	5	0,08	0,08	0,1
4. Уровень проникновения на рынок	0,02	1	3	5	0,02	0,06	0,1
5. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
6. Послепродажное обслуживание	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
Итого	1	42	46	47	3,59	3,83	3,79

Выше представлен анализ конкурентоспособности представленной в работе установки ВВЭР-640 среди отечественных разработок РБМК-1000 (Б_{к1}) и ВВЭР-1000 (Б_{к2}). Из анализа видно, что показатели разрабатываемой ЯЭУ похожи на показатели для отечественного ВВЭР-1000 (Б_{к2}). Особых преимуществ данная установка не имеет, однако её показатели довольно сбалансированы и не уступают показателям двух других рассматриваемых

реакторов. Основным же недостатком 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[7].

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;
- 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;
- безопасность установки за счет корпусного типа реактора.

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;
- для перегрузки топлива в реакторе требуется его остановка.

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;
- использование установки в регионах страны с меньшим потреблением электроэнергии;
- дальнейшая разработка ЯЭУ для улучшения ее работоспособности;
- высокое распространение водо-водяных реакторов в стране.

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;
- диверсионные и террористические действия;
- отказ от проекта государством;
- авария на ядерном объекте.

В таблице 9 представлен SWOT-анализ в виде таблицы.

Таблица 9 – SWOT-анализ установки ВВЭР-640

	<p>Сильные стороны НИП:</p> <p>С1. Доступность и обработанность технологии воды.</p> <p>С2. Глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива.</p> <p>С3. Высокая степень внутренней устойчивости благодаря отрицательному плотностному коэффициенту реактивности.</p> <p>С4. Увеличение безопасности установки за счет корпусного типа реактора.</p>	<p>Слабые стороны НИП:</p> <p>Сл1. Использование обогащенного топлива.</p> <p>Сл2. Высокое давление при энергетически приемлемых температурах.</p> <p>Сл3. Коррозионная активность.</p> <p>Сл4. Ограничение тепловых потоков из-за кризиса теплосъема.</p> <p>Сл5. Для перегрузки топлива в реакторе требуется его остановка.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Снижение стоимости электроэнергии.</p> <p>В2. Предоставление рабочих мест.</p> <p>В3. Использование установки в регионах с меньшим потреблением электроэнергии.</p> <p>В4. Дальнейшая разработка ЯЭУ для улучшения ее работоспособности.</p> <p>В5. Высокое распространение ВВЭР в стране.</p>	<p>1. Снижение затрат на электроэнергию за счет глубокого выгорания и умеренного обогащения топлива.</p> <p>2. Возможность развития ЯЭУ типа ВВЭР на еще более высокий уровень и достижение большей безопасности установки.</p>	<p>1. Квалифицированные специалисты могут способствовать повышению качества работы ЯЭУ и ее безопасности.</p> <p>2. Возможность разработать дополнительную очистку воды для обеспечения ЯЭУ теплоносителем (вода) без примесей.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Природные катаклизмы.</p> <p>У2. Несанкционированные действия в отношении ЯЭУ.</p> <p>У3. Отказ от проекта государством.</p> <p>У4. Авария на ядерном объекте.</p>	<p>1. Корпусный тип реактора служит защитной оболочкой для предотвращения выхода радиоактивных веществ при аварии.</p> <p>2. Распространенность данного типа реактора обеспечивает эффективное развитие проекта, что может помочь избежать отказа от него.</p>	<p>1. Наличие высокого давления делает ЯЭУ уязвимой перед природными катаклизмами и требуется разработка систем защиты от любого возможного внешнего воздействия.</p> <p>2. Возникновение аварии снизит интерес к проектам подобного рода.</p> <p>3. Использование обогащенного топлива влечет за собой привлечение действий террористического и диверсионного характеров, поэтому необходимо усиление системы физической защиты ядерных материалов и установок.</p>

3.4 Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Подготовительный	1	Составление и утверждение научного задания	Руководитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме водо-водяных реакторов	Бакалавр
Выбор направления исследований	3	Анализ исходных данных	Бакалавр
	4	Выбор метода выполнения работы	Бакалавр Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Применение выбранного метода к данным (проведение расчетов, создание чертежей)	Бакалавр

Продолжение таблицы 10

Оценка результатов и оформление отчета по НИР	7	Анализ результатов работы на предмет правильности полученных характеристик	Бакалавр Руководитель
	8	Определение целесообразности рассчитанной ЯЭУ	Руководитель
	9	Составление пояснительной записки к ВКР.	Бакалавр
	10	Оформление ВКР по ГОСТу.	Бакалавр Руководитель

Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (89)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (90)$$

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.

Временные показатели осуществления комплекса работ представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Временные показатели осуществления комплекса работ

Основные этапы	Продолжительность работ						T_{pi} , раб. дней	
	$t_{\min i}$, чел-дни		$t_{\max i}$, чел-дни		$t_{ож i}$, чел-дни			
	Б	Р	Б	Р	Б	Р	Б	Р
1. Составление и утверждение научного задания	-	1	-	2	-	1,4	-	0,7
2. Подбор и изучение материалов по теме водородных реакторов	2	-	4	-	2,8	-	2,8	-
3. Анализ исходных данных	1	-	2	-	1,4	-	1,4	-

Продолжение таблицы 11

4. Выбор метода выполнения работы	1	1	2	2	1,4	1,4	0,7	0,7
5. Календарное планирование работ по теме	-	1	-	3	-	1,8	-	1,8
6. Применение выбранного метода к данным (проведение расчетов, создание чертежей)	7	-	10	-	8,2	-	8,2	-
7. Анализ результатов работы на предмет правильности полученных характеристик	2	2	4	4	2,8	2,8	1,4	1,4
8. Определение целесообразности рассчитанной ЯЭУ	-	1	-	2	-	1,4	-	1,4
9. Составление пояснительной записки к ВКР.	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-
10. Оформление ВКР по ГОСТу.	2	1	4	2	2,8	1,4	1,4	0,7

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением[7].

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 на научные и производственные командировки;

- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} , \quad (91)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
1. Бумага	шт.	250	0,4	100
2. Карандаш	шт.	1	8	8
3. Ластик	шт.	1	12	12
Итого				120

Основная заработная плата исполнителей темы

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (92)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (93)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (10,4 мес.);

F_d – количество рабочих дней в месяце.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d)k_p, \quad (94)$$

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);

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

Руководитель получает 175 рублей за каждый час работы со студентом, всего у него выделено 20 часов. Соответственно:

$$Z_{\text{осн}} = 175 \cdot 20 \cdot 1,3 = 4550 \text{ руб.}$$

Зарплата для студента рассчитывается следующим образом:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot k_{\text{р}} = 9893,56 \cdot 1,3 = 12861,69 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{12861,69 \cdot 10,4}{(365 - 52 - 14 - 48)} = 532,91 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}} = 532,91 \cdot 17,7 = 9432,51 \text{ руб.}$$

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:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (95)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – 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 13.

Таблица 13 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная ЗП, руб.
Руководитель	4550,00
Бакалавр	9432,51
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
ИТОГО	3789,26

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии.

Основные работы для ВКР проводились за персональным компьютером в комнате жилого дома. Время, проведенное за работой у компьютера, примем равным 106,2 часам. Мощность компьютера: 0,5 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,80 \cdot 0,50 \cdot 106,2 = 307,98 \text{ руб.}, \quad (96)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

Накладные расходы, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Накладные расходы

Наименование	Затраты, руб.
1. Электроэнергия	307,98
2. Печать на листах А4	500,00
3. Доступ в интернет	450,00
Итого	1257,98

Формирование бюджета затрат НИИ

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 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	120,00
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	13982,51
3. Отчисления во внебюджетные фонды	3789,26
4. Накладные расходы	1257,98
Бюджет затрат НТИ	19149,75

3.5 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[7].

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[7].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (97)$$

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)[7].

Так как разработка имеет одно исполнение, то:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{19149,75}{19149,75} = 1.$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (98)$$

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 16.

Таблица 16 – Оценка характеристик исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	
	Весовой коэффициент параметра	Оценка
1. Возможность перегрузки топлива без останова реактора	0,1	1
2. Глубина выгорания, возможность её увеличения	0,15	4
3. Удобство в эксплуатации	0,05	4

Продолжение таблицы 16

4. Надежность	0,15	4
5. Уровень шума	0,01	4
6. Безопасность	0,2	4
Экономические критерии оценки эффективности		
1. Стоимость топлива в зависимости от его обогащения по изотопу U^{235}	0,05	4
2. Стоимость замедлителя	0,05	5
3. Конкурентоспособность ЯЭУ	0,02	4
4. Уровень проникновения на рынок	0,02	1
5. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4
6. Послепродажное обслуживание	0,1	3
ИТОГО	1	42

$$I_{p-исп1} = 1 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,01 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,02 + 1 \cdot 0,02 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 = 3,59.$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (99)$$

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}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}. \quad (100)$$

Таблица 17 – Эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Оценка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,59
3	Интегральный показатель эффективности	3,59

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 использованных источников

1. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов/ Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алтухов. – М.: Энергоиздат, 1982.
2. Климов А.Н. Ядерная физика и ядерные реакторы/ А.Н. Климов. – М.: Энергоатомиздат, 2002.
3. Физический расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах: Учебное пособие/ В.И. Бойко, Ф.П. Кошелев, И.В. Шаманин, Г.Н. Колпаков, О.В. Селиваникова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 504 с.
4. Колпаков Г.Н. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора на тепловых нейтронах. Часть I: Учебное пособие/ Г.Н. Колпаков, Ф.П. Кошелев, И.В. Шаманин. – Томск: Издательство ТПУ, 1997. – 80 с.
5. Технология урана и плутония: Учебное пособие/ А.А. Маслов, Г.В. Каляцкая, Г.Н. Амелина, А.Ю. Водянкин, Н.Б. Егоров. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 97 с.
6. Групповые константы для расчета ядерных реакторов/ Л.П. Абагян, Н.О. Базаянц, И.И. Бондаренко, М.Н. Николаев. – М.: Атомиздат, 1964. – 139 с.
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие/ И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницына. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
8. Кукин П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: Учебное пособие/ П.П. Кукин, В.Л. Лапин – М.: Высшая школа, 1999. – 318 с.
9. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 N 181-ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07. – С. 4

10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [Текст]. – Взамен СанПиН 2.2.2.542-96; введ. 2003-06-30. – М: Российская газета, 2003. – 3 с.
11. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 2 с.
12. 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. – 6 с.
13. Беляев С.А. Методика теплового и нейтронно-физического расчетов реакторов на тепловых нейтронах: Учеб. пособие/ С.А. Беляев, А.В. Кузьмин. – Томск: Изд.ТПИ им. С.М. Кирова, 1981. – 81 с.
14. Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации. Изд. 5-е, перераб. и доп./ В.И. Владимиров. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 480 с.
15. Дементьев Б.А. Ядерные энергетические реакторы: Учеб. для вузов/ Б.А. Дементьев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1990. – 352 с.
16. Ершов Ю.И. Математические основы теории переноса: в 2 т.: Приложения к физике реакторов/ Ю.И. Ершов, С.Б. Шихов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – Т. 2. – 256 с.
17. Крянев А.В. Вопросы математической теории реакторов: линейный анализ/ А.В. Крянев, С.Б. Шихов. – М.: Атомиздат, 1973. – 375 с.
18. Кузьмин А.В. Основы теории переноса нейтронов (лабораторный практикум): Учеб. пособие для вузов/ А.В. Кузьмин. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 192 с.
19. Мерзликин Г.Я. Основы теории ядерных реакторов. Курс для эксплуатационного персонала АЭС/ Г.Я. Мерзликин. – Севастополь: СИЯЭиП, 2001.
20. Нестеров В.Н. Организация итерационного процесса при численном восстановлении спектра нейтронов в размножающей среде с графитовым

замедлителем / А.В. Головацкий, В.Н. Нестеров, И.В. Шаманин // Известия высших учебных заведений. – 2004. – N 1. – С. 1-5.

21. Румянцев Г.Я. Расчет ядерного реактора на тепловых нейтронах/ Г.Я. Румянцев. – М.: Атомиздат, 1967. – 117 с.

22. Фарафонов В.А. Физический расчет реактора. Расчет нейтронно-физических характеристик топливных ячеек и подготовка малогрупповых макросечений для расчета реактора по программе WIMS-D4: Методические указания для курсовой работы по дисциплине "Физика ядерных реакторов"/ В.А. Фарафонов, Ю.П. Сухарев. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. – 24 с.

23. Кузьмина Е.А. Методы поиска новых идей и решений/ Е.А. Кузьмина, А.М. Кузьмин. // "Методы менеджмента качества". – 2003. – N 1.

24. Кузьмина Е.А. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю/ Е.А. Кузьмина, А.М. Кузьмин. // "Методы менеджмента качества". – 2002. – N 7.

25. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие/ Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. – М.: Энергия, 1980. – 175 с.

26. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие/ Ю.В. Скворцов. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.