

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 мощностью 1800 МВт

УДК 621.039.536

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Горюнов Михаил Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ФЭУ ФТИ	Колпаков Г.Н.	К.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Сечина А.А.	К.х.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 – 2016 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.
Профессиональные компетенции	

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
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.
Р11	Способность к организации метрологического обеспечения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	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

_____ 12.05.2016 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
0A2B	Горюнов Михаил Викторович

Тема работы:

Нейтронно-физический расчет реактора типа ВВЭР мощностью 1800 МВт
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2016
--	------------

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 - Материал 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
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	- Презентация - Чертеж ячейки - Чертеж твэла

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	12.05.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, каф. ФЭУ ФТИ	Колпаков Г.Н.	К.ф.-м.н., доцент		12.05.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Горюнов Михаил Викторович		12.05.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Горюнову Михаилу Викторовичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ВММФ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	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	1. Стоимость расходных материалов 2. Стоимость расхода электроэнергии 3. Норматив заработной платы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	1. Тариф на электроэнергию 2. Коэффициенты для расчета заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	1. Отчисления во внебюджетные фонды (27,1%) 2. Расчет дополнительной заработной платы (12%)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT – анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Бюджет научно - технического исследования (нти).
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и	1. Определение интегрального финансового показателя разработки;

экономической эффективности исследования	2.Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3.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	Доцент, кандидат химических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2B	Горюнов Михаил Викторович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2B	Горюнов Михаил Викторович

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	– вредные факторы производственной среды: повышенный уровень электромагнитного излучения, отклонение показателей микроклимата от оптимальных, повышенный уровень шума, ионизирующее излучение от ПЭВМ; – опасные факторы производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	– электробезопасность; – пожарная безопасность; – требования охраны труда при работе с ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности	– 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
--------	-----	---------	------

0A2B	Горюнов Михаил 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 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
12.05.2015	<i>Выдача задания</i>	
19.05.2015	<i>Выбор конструктивной схемы</i>	
26.05.2015	<i>Расчет критических параметров проектируемого реактора</i>	
02.06.2015	<i>Расчет характеристик «горячего реактора», многогрупповой нейтронно-физический расчет</i>	
09.06.2015	<i>Расчет эффектов реактивности</i>	
16.06.2015	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, каф. ФЭУ ФТИ	Колпаков Г.Н.	К.ф.-м.н., доцент		12.05.2016

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		12.05.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 96 с., 2 рис., 15 табл., 8 источников, 5 прил., 2 чертежа.

Ключевые слова: ядерный реактор; нейтронно-физический расчет; многогрупповой расчет; 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, влиявшие на выполнение работы.

В результате исследования были получены нейтронно-физические характеристики реактора заданного материального состава, оценены размеры активной зоны.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: ядерный реактор, мощностью 1800 МВт, с топливом UO_2 и обогащением 3,6%, использующий в качестве конструкционных материалов сталь $\text{Zr} + 1\%\text{Nb}$.

Степень внедрения: высокая; проект может использоваться в настоящее время, при продолжении дальнейших исследований.

Область применения: ядерные реакторы.

Экономическая эффективность/значимость работы высокая.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

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

БН – быстрые нейтроны;

МэВ – мегаэлектронВольт;

ТКР – температурный коэффициент реактивности;

ТЭР – температурный эффект реактивности;

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

АКЗ – активная зона;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка.

Содержание

Введение.....	17
1 Особенности конструкции реактора и ТВС	18
1.1 Общие сведения по ВВЭР	18
1.2 Описание активной зоны и её основные характеристики	20
1.3 Конструкция тепловыделяющих элементов.....	20
1.4 Ядерное топливо.....	23
1.5 Материалы оболочек тепловыделяющих элементов.....	25
1.6 Топливные кассеты и сборки	26
2 Нейтронно-физический расчет реактора	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Выбор рабочих параметров.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Предварительный тепловой расчёт	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Вычисление ядерных характеристик «холодного» реактора	Ошибка! Закладка не определена.
2.4 Поправочные коэффициенты и уточнение сечений	Ошибка! Закладка не определена.
2.5 Доли материалов в ячейке	Ошибка! Закладка не определена.
2.6 Расчет микро- и макросечений	Ошибка! Закладка не определена.
2.7 Расчет коэффициента размножения «холодного» реактора	Ошибка! Закладка не определена.
2.7.1 Расчет коэффициента размножения «холодного» реактора для бесконечной среды.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.7.2 Расчет коэффициента размножения на тепловых нейтронах (η)	Ошибка! Закладка не определена.
2.7.3 Расчет коэффициента размножения на быстрых нейтронах (ε).	Ошибка! Закладка не определена.
2.7.4 Расчет коэффициента использования тепловых нейтронов (θ)...	Ошибка! Закладка не определена.
2.7.5 Расчет вероятности избежать резонансного захвата (φ)	Ошибка! Закладка не определена.

Закладка не определена.

2.8 Расчёт эффективного коэффициента размножения..**Ошибка! Закладка не определена.**

2.9 Оптимизация параметров ячейки **Ошибка! Закладка не определена.**

3 «Горячий» реактор **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1 Температурный эффект реактивности **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1.1 Зависимость микросечений от температуры.....**Ошибка! Закладка не определена.**

3.1.2 Расчёт эффективного коэффициента размножения «горячего» реактора
..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4 Многогрупповой расчет, спектр и ценности нейтронов в активной зоне
..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.1 Пересчет концентраций **Ошибка! Закладка не определена.**

4.2 Многогрупповой расчет **Ошибка! Закладка не определена.**

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 28

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования 28

5.2 Анализ конкурентных технических решений 29

5.3 SWOT-анализ..... 31

6 Планирование научно-исследовательских работ..... 35

6.1 Структура работ в рамках научного исследования 35

6.2 Определение трудоемкости выполнения работ 36

6.3 Разработка графика проведения научного исследования 37

6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) 40

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ 41

6.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы..... 42

6.4.3 Дополнительная заработная плата 44

6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды 44

6.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки..... 45

6.4.6 Контрагентные расходы 46

6.4.7 Накладные расходы..... 46

6.4.8 Формирование бюджета затрат НИП.....	47
7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	49
8 Социальная ответственность	52
8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	52
8.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	53
8.2.1 Организационные мероприятия.....	53
8.2.2 Технические мероприятия.....	54
8.2.3 Условия безопасной работы.....	55
8.3 Электробезопасность	58
8.4 Пожарная и взрывная безопасность	59
Заключение	61
Список используемых источников.....	62
Приложение А	63
Приложение Б.....	64
Приложение В.....	65

Введение

Основная задача нейтронно-физического расчета реактора состоит в физическом обосновании конструкции и определении совокупности физических параметров реактора, удовлетворяющего поставленным требованиям. Выбрав и обосновав конструктивную схему реактора, необходимо далее провести оценочный тепловой расчет, в результате которого определяются размеры активной зоны.

После определения параметров нейтронно-физического расчета, производится расчет спектров нейтронов и их ценностей в активной зоне в 26-групповом диффузионном приближении. Физический расчет заканчивается расчетом изотопного состава топлива, а также расчетом отравления, шлакования и коэффициента воспроизводства.

Расчетом изотопного состава во времени определяют все основные нейтронно-физические характеристики реактора, в том числе длительность кампании, запас реактивности в реакторе, глубину выгорания ядерного топлива в ядерной энергетической установке. Наряду с изменением изотопного состава реактора изменяется его температура. Изменения температуры происходят при переходе реактора из холодного состояния в рабочее состояние, а также при переходе с одного уровня мощности на другой уровень.

Результаты работы могут найти применение в научно-исследовательских институтах атомной энергетики.

1 Особенности конструкции реактора и ТВС

1.1 Общие сведения по ВВЭР

Преимущественное использование водо-водяных реакторов в ядерной энергетике объясняется рядом причин. К ним, прежде всего, следует отнести то, что вода оказалась наиболее подходящим материалом для ядерных реакторов в качестве замедлителя и теплоносителя. Надо учесть при этом, что она недефицитна и весьма доступна, издавна используется в различных отраслях техники и поэтому ее свойства хорошо изучены. Технология обеспечения нужного качества воды отработана и хорошо освоена в обычной теплоэнергетике. Как замедлитель вода имеет наивысшую замедляющую способность, поэтому водо-водяные реакторы компактны, обладают сравнительно высоким удельным энерговыделением с единицы объема активной зоны, в связи с чем, может быть получена большая мощность с единицы объема. Использование воды одновременно в качестве замедлителя и теплоносителя позволило создать реакторы, сравнительно простые по устройству. Водо-водяные реакторы обладают высокой устойчивостью и саморегулируемостью благодаря отрицательному температурному коэффициенту реактивности. Наведенная активность воды обусловлена короткоживущими нуклидами, что несколько упрощает биологическую защиту и доступ к оборудованию первого контура. Вода как теплоноситель эффективно отводит тепло.

Несмотря на указанные преимущества воды, использование ее в ядерных реакторах сопряжено и с рядом трудностей. Сравнительно высокое поглощение нейтронов водой отрицательно сказывается на балансе нейтронов в активной зоне и предопределяет применение только обогащенного урана, вследствие чего коэффициент воспроизводства в водо-водяных реакторах сравнительно невысок. Сильное замедление нейтронов в воде может привести к большим локальным неравномерностям распределения энерговыделения. Поэтому при конструировании водо-водяного реактора необходимо

предусмотреть равномерное распределение воды в активной зоне. Сравнительно высокая коррозионная активность воды с конструкционными материалами требует специальной и дорогостоящей системы водоподготовки, что заметно сказывается на эксплуатационных затратах. Для получения приемлемой температуры необходимо высокое давление. В связи с ограничением температурного уровня для установок с водо-водяными реакторами характерен цикл с насыщенным паром. Удельный тепловой поток при использовании водного теплоносителя ограничен критическими тепловыми нагрузками. Все это необходимо учитывать при сооружении водо-водяных реакторов.

Есть два типа водо-водяных реакторов. В одних вода поддерживается в однофазном состоянии, т. е. без кипения. Они называются реакторами с водой под давлением. В отечественной практике ВВРД называют также водо-водяными энергетическими реакторами. В другом типе водо-водяных реакторов, с кипением (ВВРК), вода находится в двухфазном состоянии – в виде пароводяной смеси.

Основные физические характеристики (размеры и загрузка топливом) активных зон ВВЭР определяется ядерно-физическими свойствами и параметрами воды. Вследствие лучшей замедляющей способности воды размеры активных зон водо-водяных реакторов наименьшие. Это наиболее компактные из всех реакторов на тепловых нейтронах. Водо-водяные реакторы из-за существенного снижения с ростом температуры плотности воды-замедлителя имеют отрицательный температурный коэффициент реактивности и обладают свойством саморегулирования, которое должно учитываться при создании средств управления.

Обеспечение безопасности корпусных реакторов при разрывах крупных трубопроводов и корпусов оборудования требует сложных и дорогостоящих мер. Это объясняется тем, что при малоразветвленном контуре циркуляции теплоносителя разгерметизация приводит к выбросам наружу большого количества радиоактивного теплоносителя. Наряду с проблемой обеспечения радиационной безопасности здесь возникает проблема аварийного

расхолаживания активной зоны, т. е. съема остаточного тепловыделения с целью недопустить расплавления активной зоны.

1.2 Описание активной зоны и её основные характеристики

Активная зона ВВЭР-1000 имеет форму, близкую к цилиндру с эквивалентными высотой 355 см и диаметром 312 см. Активная зона реактора ВВЭР набирается из шестигранных или квадратных (в плане) кассет, устанавливаемых практически вплотную друг к другу в корзине активной зоны. В кассетах соответственно по треугольному или квадратному шагу устанавливают гладкие цилиндрические твэлы. Именно такие твэлы сейчас общеприняты для ВВЭР. Для загрузки в реактор твэлы собирают в ТВС. Одна или две трубки, в которых должны бы быть расположены твэлы, остаются пустыми. Внутри этих пустых трубок размещают измерители температуры воды (термопары) и детекторы энерговыделения. В центре кассеты расположена трубка для размещения детектора энерговыделения или температуры. Всего в кассете заключен 331 стержень, из которых 12 используются как направляющие для перемещения подвижных поглотителей, один – для размещения указанных выше детекторов, а остальные 318 – твэлы.

Общая поверхность теплопередачи в активной зоне 789 м^2 , средний тепловой поток 64 Вт/см^2 . Средняя скорость воды в кассетах 5,3 м/с, а максимальная скорость не превосходит 6,0 м/с. Обеспечивается следующий тепловой режим работы твэла: максимальная температура топлива $1600 \text{ }^\circ\text{C}$, максимальная температура оболочки $350 \text{ }^\circ\text{C}$, средний перепад температуры на оболочке твэла $23 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.3 Конструкция тепловыделяющих элементов

Твэлы – главный конструкционный элемент активных зон гетерогенных реакторов, поскольку именно в виде твэлов топливо загружается в реакторы. В них происходит деление тяжелых ядер ^{235}U , ^{239}Pu или ^{233}U , сопровождающееся выделением энергии, которая преобразуется в тепловую (главным образом в твэлах). И лишь небольшая часть тепла (несколько процентов) генерируется в других элементах активной зоны. От твэлов тепловая энергия передается теплоносителю. При наличии в твэлах материалов воспроизводства ^{238}U или ^{232}Th в них образуется и накапливается вторичное ядерное топливо ^{239}Pu или ^{233}U .

В твэлах в общем случае 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, в составе которых твэлы чаще всего и загружаются в реакторы.

Топливный сердечник содержит делящиеся или воспроизводящие нуклиды. Соответствующие химические элементы с необходимым обогащением по определенному нуклиду используются в топливном сердечнике в виде металла или какого-либо соединения или в виде дисперсной топливной композиции. Оболочка твэла вместе с концевыми деталями образует герметичный объем, внутри которого расположен топливный сердечник. Оболочка защищает топливный сердечник от контакта с теплоносителем. Тем самым, с одной стороны, топливный сердечник предохраняется от коррозионного и эрозионного воздействия теплоносителя, а с другой – предотвращается попадание продуктов деления, образующихся внутри твэлов, в теплоноситель. Через оболочку происходит передача тепла от твэла к

теплоносителю; кроме того, она воспринимает нагрузки, возникающие от воздействия топливного сердечника и накапливающихся при работе продуктов деления.

Твэлы классифицируются по различным признакам. Тип твэла определяется типом реактора, параметрами теплоносителя, назначением реактора. Один из основных признаков классификации – вид топливной композиции: металлическая, керамическая или дисперсная. Между оболочкой и топливным сердечником может быть зазор или диффузионное сцепление. Последнее осуществляется при непосредственной связи сердечника с оболочкой или через промежуточный контактный слой. Твэлы изготавливаются различными технологическими методами.

По геометрическому признаку твэлы бывают:

- блочковые;
- стержневые;
- кольцевые;
- трубчатые;
- пластинчатые;
- призматические;
- шаровые.

Блочковые и стержневые твэлы представляют собой цилиндр. Отличие заключается в отношении их длины к диаметру. У блочковых оно порядка нескольких десятков, у стержневых – нескольких сотен. В кольцевых твэлах теплосъем осуществляется и с внутренней и с наружной поверхности твэла, а в трубчатых – только с внутренней. Твэлы характеризуются такими параметрами, как удельное тепловыделение в топливе, плотность теплового потока с поверхности, рабочая температура, режим работы, энергия нейтронов, при взаимодействии с которыми происходит деление ядер в топливе.

Конструкция и материалы твэлов и ТВС должны обеспечивать их надёжную работу при высоких плотностях энерговыделения и при больших

глубинах выгорания. Твэлы также выполняют функции барьеров безопасности, предотвращающих выход высокоактивных продуктов деления в теплоноситель.

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

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

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

Как уже отмечалось выше, твэл состоит из топливного сердечника, размещаемого в герметичной оболочке. В водо-водяных реакторах в качестве ядерного топлива используется диоксид обогащенного урана (UO_2). Недостаток диоксида урана – его сравнительно низкая теплопроводность, что приводит к большим градиентам температур по сечению топливной таблетки. Это в конечном итоге влияет на прочностные характеристики твэл. Однако,

предельно допустимая температура такого сердечника составляет около 2800 °С и соответствует точке плавления UO_2 . Надо отметить, что до температуры плавления диоксид урана не имеет никаких фазовых переходов.

Топливные таблетки изготавливаются из порошка UO_2 методом спекания в форме цилиндров размером по высоте 2-3 диаметра. Таблетки как правило, имеют центральное отверстие диаметром 1.4-1.6 мм, которое служит дополнительным объемом для скопления газообразных продуктов деления и несколько снижает температуру в центре.

Металлическое урановое топливо наиболее выгодно, т.к. при большом содержании элемента с делящимся нуклидом, высокой плотности и хорошей теплопроводности оно позволяет получать большую энергонапряженность в активной зоне. Однако ему присущи ряд серьёзных недостатков: малые допускаемые выгорания из-за значительного изменения размеров и геометрической формы вследствие фазового перехода из α -фазы и β -фазы, наступающего при 662°С, ограничения по рабочей температуре, обусловленные радиационным ростом и газовым распуханием, интенсивное коррозионное взаимодействие при контакте с водой, паром, углекислым газом) приводит к тому, что металлическое топливо имеет ограниченное при

Для преодоления указанных недостатков применялся сплав урана с молибденом. Сплавы урана с высоким содержанием молибдена (9-10% по весу), кроме того, имеют улучшенную коррозионную стойкость при повышенной температуре и большую устойчивость в условиях радиационной и тепловой нагрузки. Из-за очевидных недостатков металлического топлива в последние годы в энергетических реакторах широко используется керамическое топливо. В настоящее время ведутся работы по использованию мокс-топлива в энергетических реакторах. Применение мокс-топлива в тепловых и быстрых реакторах объясняется тем, что мировые запасы U^{235} ограничены и обеспечение топливом ядерной энергетики на длительный период невозможно без привлечения других делящихся (воспроизводящих) материалов.

1.5 Материалы оболочек тепловыделяющих элементов

Так как оболочки твэлов работают в наиболее трудных условиях при одновременном длительном воздействии высоких температур и полей облучения, тепловых потоков, давления, коррозионного действия теплоносителя, топлива и продуктов деления, к ним предъявляют жесткие требования:

- Малое сечение поглощения нейтронов;
- Механическая прочность и неизменность формы под действием температурного и радиационного воздействия;
- Высокая теплопроводность;
- Коррозионная и эрозионная стойкость в теплоносителе и совместимость с ядерным топливом;

Толщину оболочки выбирают, исходя из условий обеспечения достаточной прочности. Она составляет 0.2–0.4 мм для стальных и 0.4–0.8 мм для циркониевых и алюминиевых оболочек.

Цирконий имеет малое сечение поглощения тепловых нейтронов, высокую температуру плавления, малую плотность, невысокий коэффициент расширения и хорошие пластические свойства. К недостаткам следует отнести трудность его получения в чистом виде, малую коррозионную стойкость в воде при температурах 300–400°C. В реакторах с газовым и жидкометаллическим теплоносителем цирконий можно использовать только до температуры 500°C. Циркониевые сплавы имеют более высокую коррозионную стойкость. Механические свойства чистого циркония не высоки. Легированием добиваются наряду с обеспечением достаточной коррозионной стойкости и повышения механических свойств. Так предел текучести сплава Zr – 1% Nb, применяемого для оболочек твэлов, при температуре 20, 200, 300, 400°C соответственно равен 200, 160, 120, 90 МПа, а сплава Zr – 2,5% Nb при тех же

температурах – 280, 220, 180, МПа. Циркониевые сплавы обладают высокой пластичностью (порядка 20–40%).

К неудовлетворительным механическим свойствам циркониевых сплавов следует отнести их высокую ползучесть при температуре 320–350°C и выше. Это свойство необходимо учитывать при конструировании узлов активных зон. Кроме того, цирконий растворяет водород, возникающий в процессе коррозии, при этом образуются гидриды циркония, в результате чего пластичность циркония падает и он может сильно охрупчиваться. Особенно вредны гидриды, расположенные радиально. Соответствующими технологическими методами удаётся существенно понизить склонность циркония к выделению радиально ориентированных гидридов.

1.6 Топливные кассеты и сборки

Кассета – это строго определенное количество твэлов, конструктивно объединенных между собой, с обеспечением условий эффективного тепловыделения и теплоотдачи, а так же оперативной замены, предусмотренной правилами эксплуатации.

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. 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 это 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.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

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

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

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

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

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

5.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Наиболее подходящими для сравнения являются ЯЭУ отечественных разработок, т.к. Россия является одной из лидирующих стран по уровню развития атомной энергетики и именно отечественные разработки востребованы на российском рынке атомной энергии. Оценочная карта анализа представлена в таблице 7. 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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (43)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Стоимость топлива в зависимости от обогащения по изотопу U^{235} .	0,04	5	4	3	0,2	0,16	0,12
2. Стоимость замедлителя	0,04	4	4	5	0,16	0,16	0,2
3. Возможность перегрузки топлива без останова реактора	0,1	5	5	3	0,5	0,5	0,3
4. Необходимость более высокого давления теплоносителя, а следовательно оборудования для его создания	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
5. Глубина выгорания и возможность её увеличения	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
7. Удобство в эксплуатации	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
9. Надежность	0,15	4	4	5	0,6	0,6	0,75
10. Уровень шума	0,01	4	4	4	0,04	0,04	0,04
11. Безопасность	0,2	4	4	5			
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,01	4	4	5	0,04	0,04	0,05
2. Уровень проникновения на рынок	0,01	1	4	5	0,01	0,04	0,05
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
4. Послепродажное обслуживание	0,1	4	4	5	0,4	0,4	0,5
Итого	1	51	53	55	3,3	3,29	3,42

Отметим, что цены, которые предприятия, вероятно, будут платить за поставку уранового концентрата, составляют только одну треть стоимости топлива, загруженного в ядерный реактор. Остальное – это, главным образом, стоимость обогащения.

Выше представлен анализ конкурентоспособности ЯЭУ, представленной в данной работе, среди отечественных разработок РБМК-1500 (B_{k1}) и ВВЭР-

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 ВВЭР-1000 ($B_{к2}$). Не маловажным фактом является то, что разрабатываемая установка единственная в своем роде и представительства на рынке не имеет.

5.3 SWOT-анализ

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

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

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

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

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

Слабыми сторонами разрабатываемой ЯЭУ можно назвать следующие свойства и особенности:

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

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

К возможностям данной ЯЭУ можно отнести:

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

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

К угрозам по отношению к ЯЭУ можно отнести:

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

В таблице 3 представлен SWOT-анализ в виде таблицы.

Таблица 3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. доступность и обработанность технологии воды. С2. большие удельная и объемная мощности при относительно небольших габаритах и умеренных критических нагрузок реактора. С3. высокая замедляющая способность воды в сочетании со слабым рассеянием нейтронов водородом при больших энергиях, позволяет обеспечить глубокое выгорание при умеренных обогащениях топлива. С4. высокая степень внутренней устойчивости благодаря отрицательному плотностному коэффициенту реактивности.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. большое сечение поглощения нейтронов, что приводит к использованию обогащенного топлива. Сл2. высокое давление при энергетически приемлемых температурах. Сл3. коррозионная активность и сильное взаимодействие с металлическим топливом, что заставляет применять двуокись урана и нержавеющие конструкционные материалы. Сл4. ограничение тепловых потоков из-за кризиса теплосъема.
Возможности: В1.Снижение стоимости электроэнергии. В2.Предоставление рабочих мест. В3.Расширение производства и мощностей для обеспечения работоспособности ЯЭУ	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.	1. Высококвалифицированный персонал повысит качество работы ЯЭУ, безопасность. 2.Дополнительные производства для обеспечения ЯЭУ жидкометаллическим теплоносителем.
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.	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.	1. Отсутствие корпуса у реактора делает его уязвимым перед природными катаклизмами.

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.

6 Планирование научно-исследовательских работ

6.1 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 4.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

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

Продолжение таблицы 4

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

6.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (44)$$

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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (45)$$

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.

6.3 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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (46)$$

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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (47)$$

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 5 – Временные показатели осуществления комплекса работ

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

Календарный план-график выполнения работ представим в виде таблицы.

Таблица 6 – Календарный план-график выполнения работ

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

Продолжение таблицы 6.

8	Определение целесообразности проведения НИР	Б Р	3								
9	Составление пояснительной записки к ВКР	Б	10								
10	Оформление пояснительной записки к ВКР по ГОСТу	Б	7								
Руководитель											
Бакалавр											

6.4 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.

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \text{Ц}_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (48)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

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

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 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

$$C = \text{Ц}_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 2,7 \cdot 0,9 \cdot 900,0 = 2187, \quad (49)$$

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

P – мощность оборудования, кВт;

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

Затраты на электроэнергию составили 2187 рублей.

Таблица 7 – 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

6.4.2 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 НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (50)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (51)$$

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:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d}, \quad (52)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – количество рабочих дней в месяце.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) k_p, \quad (53)$$

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:

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

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m}{F_d} = \frac{35100}{21} = 2160,31 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p = 2160,31 \cdot 7 = 15122,16 \text{ руб.}$$

Таблица 8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$, руб	k_p	Z_m , руб	$Z_{\text{дн}}$, руб	T_p , дни	$Z_{\text{осн}}$, руб

Руководитель	23264,86	1,3	45366,48	2160,31	7	15122,16
Бакалавр	3300	0	3300	157	96	15072
ИТОГО						30194,16

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (54)$$

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

Таблица 9 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	Основная ЗП,руб	Дополнительная ЗП,руб
Руководитель (доцент)	15122,16	1814,66
Бакалавр	15072	1808,64
ИТОГО		3623,3

6.4.4 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:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (55)$$

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 10.

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	Основная ЗП, руб	Дополнительная ЗП, руб
Руководитель	15122,16	1814,66
Бакалавр	15072	1808,64
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	-
ИТОГО		4098,1

6.4.5 Расчет затрат на научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. В данном дипломном проекте таких затрат нет.

6.4.6 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 работ 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.

6.4.7 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:

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}} + З_{\text{мат}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (56)$$

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

$$З_{\text{накл}} = 40965,56 \cdot 0,16 = 6554,49 \text{ руб.}$$

6.4.8 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 11.

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Материальные затраты НТИ	4,7470
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	141,8000
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	14,4607
4. Отчисления во внебюджетные фонды	39,1312
5. Накладные расходы	46,878
Бюджет затрат НТИ	247,0169

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (57)$$

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

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

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

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

Так как разработка имеет одно исполнение, то

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (58)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

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

Таблица 12 — Оценка характеристик исполнения проекта

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

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

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.} \quad (59)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность

проекта (см.табл.13) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} . \quad (60)$$

Таблица 13 – Эффективность разработки

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

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

8 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда.

Охрана труда – это система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда [5].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, согласно [5], называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

8.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. В таблице 14 приведены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 14 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Кафедра ФЭУ НИ ТПУ	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ,СВЧ и так далее)	—	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
	—	Пожарная безопасность	Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ Пожарная безопасность

При работе на ПЭВМ на студента воздействуют следующие факторы:

- физические: температура и влажность воздуха; шум; статическое электричество; электромагнитное поле низкой частоты; освещённость; наличие излучения;
- психофизиологические.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно-психические перегрузки.

8.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ

8.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной

санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией или лицом ответственным за рабочее место после обучения на рабочем месте. После чего сотруднику присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается удостоверение специального образца.

Лица, работающие на ПЭВМ, не должны иметь медицинских противопоказаний. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

8.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, в качестве примера рисунок 2 иллюстрирует зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости.

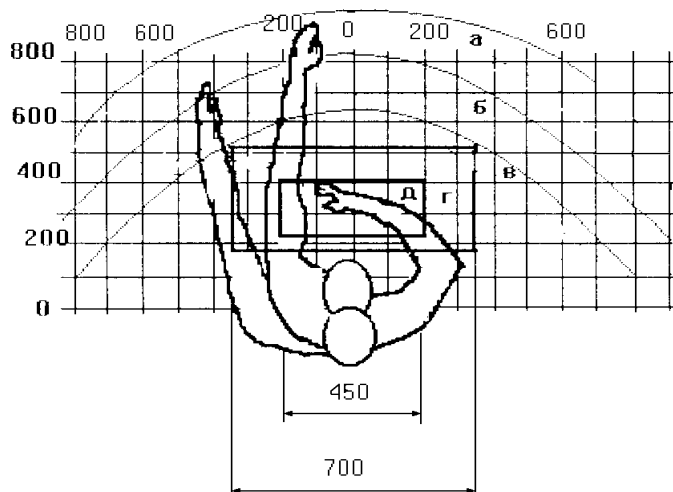


Рисунок 2 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

- а – зона максимальной досягаемости рук;
- б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в – зона легкой досягаемости ладони;
- г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680–800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной — не менее 500 мм, глубиной на уровне колен — не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног — не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420–550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500–600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30° . Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100–300 мм от края.

8.2.3 Условия безопасной работы

Основные параметры, характеризующие условия труда это микроклимат, шум, вибрация, электромагнитное поле, излучение, освещённость.

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность,

скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [6] и приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23–25	40–60	0,1
Тёплый	23–25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека — не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность — 40%, скорость движения воздуха — 0,1 м/с, температура летом — 20–25 °С, зимой — 13–15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок

при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [2] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц — 25 В/м;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц — 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц — 250 нТл;
- в диапазоне частот от 2 до 400 кГц — 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам [5] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

8.3 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность поражения электрическим током в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развѐртки.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;

– недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей) [7].

8.4 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [8], в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике подразделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

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

Заключение

В результате проделанной работы были освоены основы нейтронно-физического расчета ядерного реактора. Был произведен обзор литературы по водо-водяным реакторам. Был выполнен предварительный тепловой расчет реактора. Были выбраны оптимальные значения для радиуса твэлов и шага решетки. Была получена система многогрупповых констант для заданной установки (ВВЭР-640) и определены нейтронно-физические параметры. Получен навык использования основных соотношений, являющихся неотъемлемой частью физического расчета ядерного реактора.

В то же время, проведенные расчеты нельзя считать более чем оценочными, так как большинство ядерно-физических констант определены в большом приближении. Многие расчетные формулы дают результаты с весьма большими погрешностями.

Список используемых источников

1. Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алтухов. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 512 с.
2. 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.
3. Абагян Л.П. Групповые константы для расчета ядерных реакторов и защиты: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 137 с.
4. 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. – 80 с.
5. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17.07.99 №181 – ФЗ. // Российская газ. – 1999. – 11.02. – С. 5
6. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы»: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.: – Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 03.06.03 N 118.
7. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [Текст]. – Введ. 30.06.82. – Утв. постановлением Госстандарта СССР от 30.06.82 N 2987.
8. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.1.004.-85. – Введ. 01.07.92. – Утв. Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 14.06.91 № 875.

Приложение А (обязательное)

Таблица А.1 – Результаты расчетов концентраций, микро- и макросечений «холодного реактора».

Материал	Ai	γ_i	Ni	Микросечение, барн				Микросечение (с поправкой), барн				Макросечение, см ⁻¹				μ_s	ζ	$\zeta \Sigma_s$
				σ_{a0}	σ_{f0}	σ_{s0}	σ_{tr0}	σ_{acr}	σ_{fcr}	σ_{scr}	σ_{trcr}	Σ_a	Σ_f	Σ_s	Σ_{tr}			
UO ₂	270	10,2	2,28E+22									4,51E-01	0,346	3,80E-01	0,825			2,22E-02
U ²³⁵	235		8,19E+20	683	582	15	698	496,076	422,717	15	511,075	4,06E-01	0,346	1,23E-02	0,419	0	0,0085	1,04E-04
U ²³⁸	238		2,19E+22	2,7	0	8,99	11,7	2,05		8,99	11,04	0,044973		0,197	0,242	0	0,0084	0,001652
O	16		4,55E+22	0		3,75	3,6							0,17	0,163	0,04	0,12	0,020478
Zr	91		4,27E+22	0,2		6,2		0,139		6,2	6,277	0,005971		0,264	0,267	0,01	0,0492	0,013007
Nb	93		4,22E+20	1,2		6,5		0,877		6,5	7,312	0,00037		0,00274	0,00308	0,01	0,048	0,000132
Zr+1%Nb		6,51										0,006341		0,267	0,27			0,013138
H ₂ O	18	1	1,26E+22									0,0221		2,67	2,31			1,35

Приложение Б

Таблица Б.1 – Данные «горячего» реактора

Материал	$N, \text{см}^{-3}$	Микросечение, барн				Макросечение, см^{-1}				Логарифмический декремент	Замедляющая способность
		σ_a	σ_f	σ_s	σ_{tr}	Σ_a	Σ_f	Σ_s	Σ_{tr}	ξ	$\xi\Sigma_s$
U^{235}	$8,19 \cdot 10^{20}$	374,036	318,725	15	389,036	0,306	0,261	0,0123	0,319	$0,848 \cdot 10^{-2}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$
U^{238}	$2,19 \cdot 10^{22}$	1,568	—	9	10,558	0,0344	—	0,197	0,231	$0,838 \cdot 10^{-2}$	$1,65 \cdot 10^{-3}$
O^{16}	$4,55 \cdot 10^{22}$	—	—	3,75	3,6	—	—	0,17	0,163	0,120	0,0204
Топливо	$2,28 \cdot 10^{22}$	—	—	—	—	0,341	0,261	0,38	0,714	—	0,0222
Тепл-ль (H_2O)	$2,37 \cdot 10^{22}$	—	—	—	—	0,0221	—	2,670	2,31	—	1,35
Zr^{40}	$4,27 \cdot 10^{22}$	0,107	—	6,2	6,245	0,00456	—	0,264	0,266	0,0492	$1,3 \cdot 10^{-2}$
Nb^{41}	$4,22 \cdot 10^{20}$	0,671	—	6,5	7,106	0,00028	—	0,0027	0,0029	0,048	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Оболочка	$4,31 \cdot 10^{22}$	—	—	—	—	0,00485	—	0,267	0,269	—	$1,313 \cdot 10^{-2}$

Приложение В

Таблица В.1 – Многогрупповые параметры

№	$\Sigma_a(\text{смеси})$	$\Sigma_{\text{тр}}$	D	Σ_f	$\Sigma_z(\text{смеси})$	$\Sigma_{y\theta}$	I	I ⁺
1	0,007887456	0,045843	7,271228	0,00434	0,116558	6,42E-02	0,130475948	1,525068
2	0,003738148	0,057689	5,778096	0,002538	0,111624	6,32E-02	0,813082073	1,525085
3	0,002712835	0,069671	4,784409	0,002553	0,106114	6,70E-02	2,135452367	1,53248
4	0,002473385	0,079327	4,201993	0,002191	0,113818	4,93E-02	3,848635633	1,522024
5	0,000877744	0,131992	2,525415	0,000272	0,170255	6,14E-02	3,019757086	1,514297
6	0,000818278	0,153744	2,168102	0,000187	0,209141	6,24E-02	3,056212701	1,521363
7	0,000939345	0,175407	1,900347	0,000215	0,241442	8,17E-02	2,748480218	1,527032
8	0,001297296	0,203403	1,638784	0,000259	0,296505	9,01E-02	2,100005275	1,531393
9	0,001941435	0,226293	1,47302	0,00032	0,346824	1,07E-01	1,772249453	1,535282
10	0,002507171	0,248528	1,341232	0,000404	0,465705	1,13E-01	1,288166445	1,540559
11	0,003196688	0,253207	1,316447	0,000518	0,426723	1,02E-01	1,226611781	1,543818
12	0,003849585	0,268184	1,242929	0,00067	0,443987	1,04E-01	1,374093718	1,54938
13	0,004568647	0,265523	1,255384	0,000823	0,45046	1,05E-01	1,273163934	1,555344
14	0,005449512	0,258693	1,288531	0,001112	0,451329	1,07E-01	1,248368308	1,562214
15	0,007103785	0,255686	1,303683	0,001676	0,448802	1,07E-01	1,23429971	1,569584
16	0,008148293	0,252243	1,321477	0,002437	0,444245	1,08E-01	1,225910431	1,579751

Продолжение приложения В

17	0,010657401	0,265421	1,255866	0,003318	0,455604	1,10E-01	1,168618734	1,588454
18	0,011797324	0,258506	1,28946	0,005118	0,448688	1,12E-01	1,175947178	1,602212
19	0,017742104	0,268443	1,241731	0,006375	0,45268	1,13E-01	1,125680456	1,604643
20	0,023696391	0,270975	1,230124	0,006169	0,449259	1,16E-01	1,095756965	1,611366
21	0,039471636	0,283655	1,175136	0,004903	0,446163	1,28E-01	1,031485522	1,621998
22	0,006415695	0,247015	1,349447	0,002772	0,442579	1,06E-01	1,056540919	1,73546
23	0,009187001	0,249938	1,333662	0,004692	0,442731	1,09E-01	1,039976391	1,742246
24	0,014860315	0,255764	1,303285	0,009749	0,442883	1,08E-01	1,013604235	1,751311
25	0,034387001	0,275443	1,210172	0,02361	0,443036	7,60E-02	0,952039357	1,755058
T	0,121424851	0,362481	0,919589	0,088653	0	2,13E-02	5,993915615	1,763512

Спектр потоков

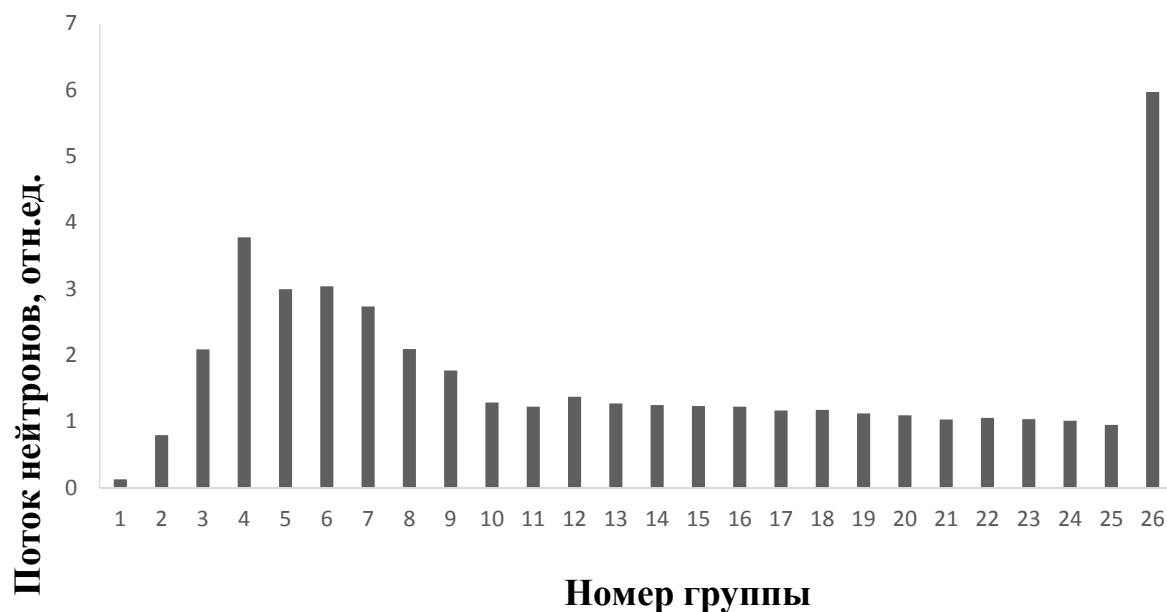


Рисунок В.1 – Спектр потоков нейтронов

Спектр ценности

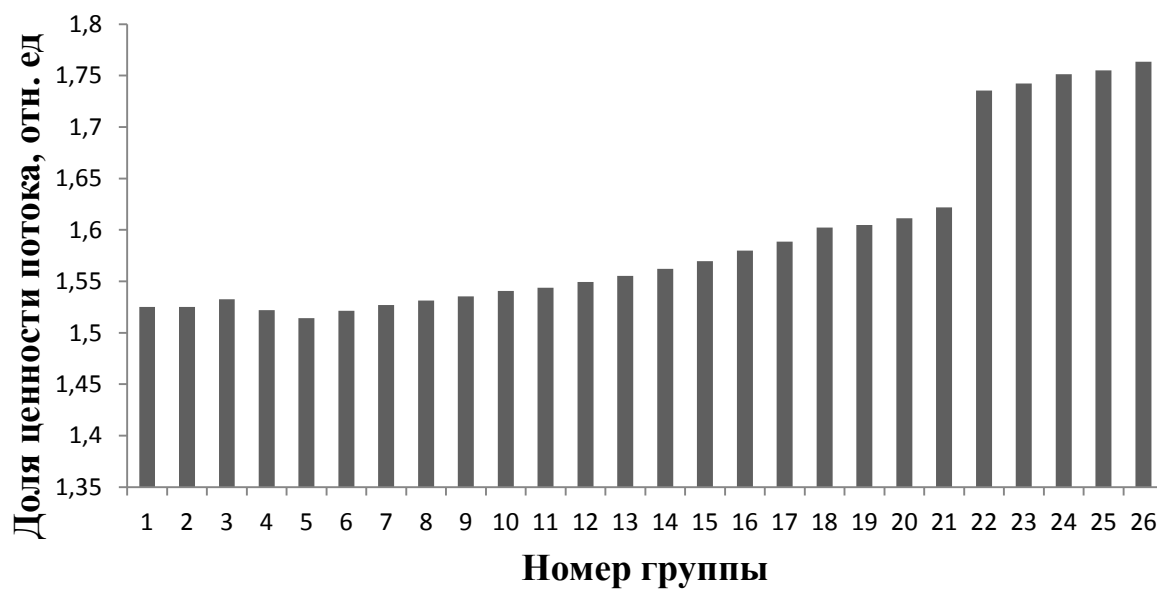


Рисунок В.2 – Спектр ценностей нейтронов

