

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Обоснование возможности модернизации внутренней тепловой сборки реактора ИРТ-Т</b> УДК 621.039.534:621.039.55

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Гордеев Павел Петрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Наймушин А.Г.	к.ф.-м.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции)
P1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
P2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
P3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
P4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
P5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
P6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного

	<p>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).</p>
P9	<p>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.</p>
P10	<p>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.</p>
P11	<p>Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.</p>
P12	<p>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</p>

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

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Бычков П.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6В	Гордееву Павлу Петровичу

Тема работы:

Обоснование возможности модернизации внутренней тепловой сборки реактора ИРТ-Т	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Номинальная тепловая мощность реактора: 6 [МВт];</li> <li>– Количество ТВС в активной зоне: 20;</li> <li>– Обогащение ТВС: 90 [%];</li> <li>– Количество экспериментальных каналов: 10 горизонтальных, 14 вертикальных.</li> </ul>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(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).</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Оценка влияния замены ТВС на характеристики реактора ИРТ-Т;</li> <li>– Оценка влияния фильтрующих материалов на интенсивность нейтронного потока;</li> <li>– Оценка возможности использования конвертера нейтронов и фильтрующих материалов.</li> </ul>
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Презентация;</li> <li>– Сборочный чертеж</li> </ul>
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
нет	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	27.04.2020
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Наймушин А.Г.	к.ф.-м.н.		27.04.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Гордеев Павел Петрович		27.04.2020

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6В	Гордееву Павлу Петровичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	– 30% премии; 20% надбавки; 30% районный коэффициент.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %. – Ставка по НДС – 20%.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	– провести SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	– выявить структуру работ и их исполнителей; – определить трудоемкость проводимых работ; – разработать график проведения исследования; – рассчитать размер бюджета исследования.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	– оценить экономическую эффективность проекта.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Матрица SWOT 2. Бюджет проведения НИ 3. Диаграмма Гантта
---

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	27.04.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОГСН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		27.04.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А6В	Гордеев Павел Петрович		27.04.2020

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А6В	Гордееву Павлу Петровичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ЯТЦ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии

**Тема ВКР:**

<b>Обоснование возможности модернизации ВТС реактора ИРТ-Т</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Обоснование возможности модернизации ВТС реактора ИРТ-Т и расчет соответствующих нейтронно-физических характеристик с целью увеличения количества экспериментальных устройств.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018);</li> <li>– НП-044-18;</li> <li>– СанПиН 2.6.1.2523-09;</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ; ГОСТ 21889-76;</li> <li>– ГОСТ 22269-76; ГОСТ Р 50923-96;</li> <li>– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Повышенный уровень ионизирующих излучений;</li> <li>– отклонение показателей микроклимата;</li> <li>– превышение уровня шума;</li> <li>– недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>– повышенный уровень электромагнитных излучений;</li> <li>– психофизиологические факторы;</li> <li>– повышенное значение напряжения в электрической цепи.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ воздействия реактора на атмосферу, гидросферу, литосферу;</li> <li>– анализ влияния ПЭВМ на окружающую среду.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбор и описание возможных ЧС при эксплуатации реактора по шкале INES;</li> <li>– анализ типичной ЧС во время поведения исследования – пожар на рабочем месте.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	27.04.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Гоголева Т.С.	к. ф.-м. н.		27.04.2020

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А6В	Гордеев Павел Петрович		27.04.2020



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

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
 Уровень образования высшее  
 Отделение школы (НОЦ) Ядерно-топливного цикла  
 Период выполнения (весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.04.2020	<i>Выдача задания</i>	
30.04.2020	<i>Обзор литературы</i>	
13.05.2020	<i>Определение нейтронно-физических характеристик при замене ВТС реактора ИРТ-Т</i>	
18.05.2020	<i>Оценка влияния фильтрующих материалов на плотность потока нейтронов в исследуемой регистрационной зоне</i>	
28.05.2020	<i>Расчет конвертера нейтронов</i>	
31.05.2020	<i>Расчет изменения плотности потока нейтронов при использовании фильтрующих материалов и конвертера</i>	
08.06.2020	<i>Сдача работы</i>	

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Наймушин А.Г..	к.ф.-м.н.		27.04.2020

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	к.т.н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 84 с., 20 рис., 22 табл., 37 источник, 5 прил., 2 чертежа.

Ключевые слова: реактор ИРТ-Т; внутренняя тепловая сборка; конвертер нейтронов; MCU-PTR; нейтронно-физический расчёт.

Объектом исследования является исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т мощностью 6 МВт с топливом  $UO_2$  в алюминиевой матрице, обогащением 90,1 % по  $U^{235}$  и с водяным теплоносителем.

Цель работы – оценка возможности модернизации ВТС реактора ИРТ-Т для создания облучательного объема.

В процессе исследования определено влияние замены ВТС на параметры реактора ИРТ-Т. Произведены расчеты влияния фильтрующих материалов на плотность потока нейтронов. Проведено обоснование возможности использования конвертера нейтронов и фильтрующих материалов.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: реактор ИРТ-Т, тепловая мощность – 6 МВт, ядерное горючее –  $UO_2$  в алюминиевой матрице, обогащение 90,1 %, теплоноситель – обессоленная вода, твэлы – трубчатые, квадратного сечения, с наружным охлаждением, материал оболочек твэлов – сплав САВ-1.

## Оглавление

Введение .....	13
Глава 1. Литературный обзор .....	15
1.1 Исследовательский реактор ИРТ-Т .....	15
1.2 Расчетное обеспечение проведения исследования .....	16
Глава 2. Практическая часть .....	18
2.1 Оценка влияния замены ВТС .....	18
2.2 Оценка влияния фильтрующих материалов на интенсивность нейтронов ...	21
2.3 Обоснование возможности использования конвертера нейтронов .....	22
2.4 Определение оптимального фильтрующего материала конвертера и его расположения .....	29
2.5 Определение оптимального фильтрующего материала после конвертера и его размеров .....	33
Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	36
3.1 SWOT-анализ .....	36
3.2 Организация и планирование работ .....	39
3.2.1 Продолжительность этапов работ .....	40
3.3 Расчёт накопления готовности проекта .....	43
3.4 Расчёт сметы на выполнение проекта .....	44
3.4.1 Расчёт затрат на материалы .....	45
3.4.2 Расчёт заработной платы .....	46
3.4.3 Расчёт затрат на страховые взносы .....	47
3.4.4 Расчёт затрат на электроэнергию .....	47
3.4.5 Расчёт амортизационных расходов .....	49
3.4.6 Расчёт прочих расходов .....	50
3.4.7 Расчёт суммарной себестоимости разработки .....	50
3.4.8 Расчёт прибыли .....	51
3.4.9 Расчёт НДС .....	51

3.4.10 Цена разработки проекта .....	51
3.4.11 Оценка экономической эффективности проекта .....	51
Глава 4. Социальная ответственность.....	52
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	53
4.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства .....	53
4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	54
4.2 Профессиональная социальная безопасность.....	55
4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов .....	55
4.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов .....	62
4.3 Экологическая безопасность .....	65
4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	65
4.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	67
4.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.....	68
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	69
4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований .....	69
4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований.....	70
4.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	71
Заключение .....	73
Список используемых источников.....	75
Приложение А .....	79
Приложение Б.....	80
Приложение В .....	81
Приложение Г.....	82
Приложение Д .....	83

## Введение

Мощные современные ядерные реакторы АЭС стали одной из главных визитных карточек нашей страны в области высоких технологий. Но при этом нередко в тени остаются достижения в области исследовательских ядерных реакторов. На таких установках изучаются новые виды ядерного топлива и конструкционных материалов. К тому же эти реакторы востребованы в качестве универсальных инструментов для проведения передовых исследований в самых разных областях – физике, химии, биологии, геологии, материаловедении, медицине [1-4].

На реакторе в данный момент проводятся множество исследований в различных областях [5]:

- технологии и оборудование для получения принципиально новых диагностических и терапевтических радиофармпрепаратов на основе изотопов самария-153, рения-186, йода-125, йода-131; меченных технецием-99м нанокolloидов и др.;

- разработка методов нейтронно-захватной терапии для лечения онкологических заболеваний;

- создание комплекса по синтезу радионуклида иридий-192 для дефектоскопии;

- разработки технологий ядерного (трансмутационного) легирования слитков кремния диаметров более 300 мм для производства высокоточных полупроводниковых приборов.

Для того, чтобы иметь возможность использовать новые установки и облучать большее количество материалов, существует потребность в дополнительных облучательных объемах.

В данной работе представлены результаты по определению возможности замены ВТС реактора ИРТ-Т для дальнейшей реализации и создания облучательных объемов и вывода пучка нейтронов. Целью данной

учебно-исследовательской работы является оценка возможности модернизации ВТС реактора ИРТ-Т для создания облучательного объема.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- оценка влияния замены ВТС на характеристики реактора ИРТ-Т;
- оценка влияния фильтрующих материалов на интенсивность нейтронов;
- оценка возможности использования конвертера нейтронов и фильтрующих материалов.

## Глава 1. Литературный обзор

### 1.1 Исследовательский реактор ИРТ-Т

Реактор ИРТ-Т – исследовательский реактор бассейнового типа, работает с 1967 года. В 1984 году была проведена его модернизация, позволившая увеличить мощность реактора до 6 МВт. В 2006 году была модернизирована его система управления и защиты. Срок эксплуатации реактора продлен до 2034 года [5].

Данный реактор является мощным источником нейтронного и гамма излучения. Реактор предназначен для проведения научно-исследовательских работ по физике твёрдого тела, нейтронно-активационному анализу элементного состава веществ, производству радионуклидов, легированию кремния, нейтронной радиографии и других работ с использованием реакторного излучения [6].

Технические характеристики: замедлитель – вода; отражатель – бериллий-вода; мощность – 6 МВт; плотность тепловых нейтронов –  $1,7 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ; плотность быстрых нейтронов –  $2,0 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ; среднее время работы на мощности в год – 4500 часов (приложение А и Б) [5].

Активная зона реактора скомпонована таким образом, что ее геометрические размеры малые, при достаточно большой утечке нейтронов. Это достигнуто благодаря использованию ТВС типа ИРТ-3М с обогащением 90% по урану-235. Максимальное число ячеек активной зоны, в которые могут устанавливаться ТВС – 56 штук. Штатная загрузка состоит из 12 стандартных ТВС (8-ми трубные) и 8 ТВС со стержнями СУЗ (6-ти трубные).

Реактор ИРТ-Т имеет 14 ВЭКов из сплава алюминия диаметром 70x2 мм и диаметром 55x2 мм и 10 ГЭКов для вывода пучков нейтронов. Восемь радиально расположенных из них имеют внутренний диаметр 100 мм. Рядом с активной зоной находится бериллиевый блок, в котором расположен ГЭК-4, следом располагается ВТС, которая установлена в качестве отражателя

нейтронов для увеличения плотности потока тепловых нейтронов в данном канале [6].

## **1.2 Расчетное обеспечение проведения исследования**

Для обоснования возможности модернизации ВТС необходимо отслеживать изменения нейтронно-физических параметров в определенных зонах реактора, что не всегда возможно сделать экспериментальным путем. Для подобных целей существуют программы, использующие детерминистические и стохастические методы решения уравнения переноса излучения.

Проект MCU, развиваемый в России с 1982 года, направлен на разработку и практическое использование универсальной компьютерной программы для численного моделирования процессов переноса различного вида излучений (нейтронов,  $\gamma$ -квантов, электронов, позитронов) в трёхмерных системах методом Монте-Карло [7,8].

Всего к 2012 году в рамках проекта было выпущено пять пакетов MCU. Каждый пакет имеет свое собственное название и состоит из модулей, библиотек и некоторого набора вспомогательных программ.

Все программы, созданные на базе одного пакета, различаются в основном набором модулей и, как следствие, областью применения, однако все они имеют однотипный ввод исходных данных [7].

Программа обязательно содержит следующие модули: физический, геометрический, источников, регистрации, транспортный, управляющий и оборудования. Назначение каждого из модулей непосредственно отражено в его названии [7].

Физический модуль программы рассчитывает необходимые сечения взаимодействия частиц со средой и моделирует их столкновения с ядрами. Геометрический модуль программы вычисляет функции, аргументами которых служат пространственные координаты, а также моделирует полёт частиц от одного столкновения до другого. В программе также содержится модуль источников, который моделирует параметры для частиц источника или



начальные параметры первичной группы нейтронов при решении однородной задачи. Модуль регистрации программы собирает статистику событий (взаимодействий частиц), необходимую для оценки функционалов, а затем обрабатывает эту статистику. Транспортный модуль программы, иногда называемый модулем траекторий, осуществляет моделирование отдельных траекторий частиц. Управляющий модуль программы организует совместную работу всех модулей. Модуль оборудования программы содержит такие общие для всех других модулей подпрограммы, как датчик псевдослучайных чисел, программы открытия файлов, программы ввода-вывода и другие. В программе может присутствовать модуль выгорания, который обеспечивает расчёт изменения изотопного состава материалов в процессе кампании реактора, а также некоторые другие модули [7].

Для проведения исследования была выбрана программа MCU-PTR [9]. Программа разработана для расчета активных зон исследовательских ядерных реакторов бассейнового типа.

Обеспечение константами программы MCU базируется на библиотеке ядерных данных MCUIDB50. В библиотеку сечения и другие константы взаимодействия нейтронов и гамма-квантов в определенной области энергии с нуклидами, входящими в состав материалов реактора.

Верификация программы MCU-PTR с библиотекой констант MCUIDB50 для полномасштабного расчета исследовательского реактора ИРТ-Т была проведена в 2015 году. Верификация проводилась на основе сравнения результатов расчета по программе MCU-PTR с эксплуатационными экспериментальными данными реактора ИРТ-Т, был получен аттестационный паспорт ПС №393 от 14.07.2016.

## Глава 2. Практическая часть

### 2.1 Оценка влияния замены ВТС

Для создания облучательного объема была выбрана область в тепловой колонне за баком реактора. Так как ВТС находится на пути пучка нейтронов потребуется ее модернизация (рисунок 2.1).

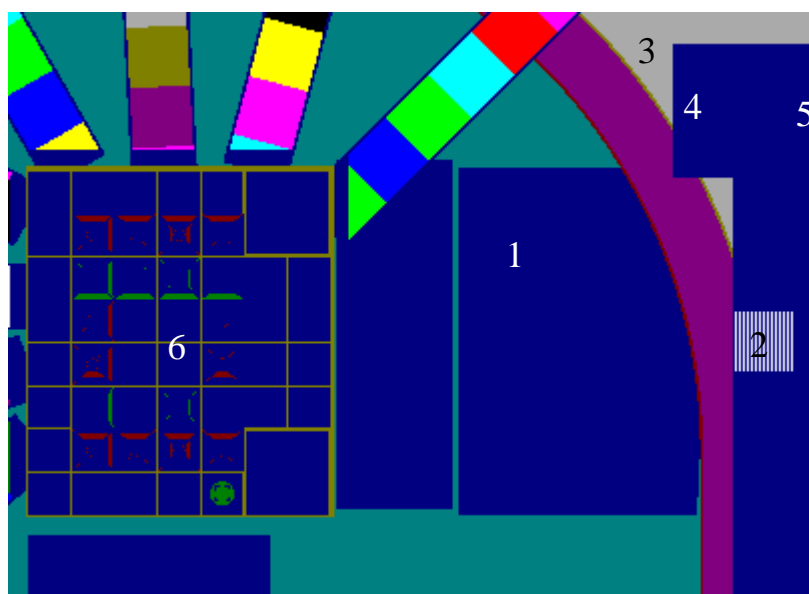


Рисунок 2.1 – Сечение модели реактора с замененной ВТС: 1 – замененная на сплошной блок ВТС; 2 – регистрационная область; 3 – бетон; 4 – чугунная пластина; 5 – бетонная плита; 6 – активная зона

Однако замена ВТС на цельный блок может привести к сильному изменению потоков в ГЭК-4 и запаса реактивности реактора поэтому следует оценить влияние такой замены.

В качестве материалов для ВТС рассматривались бериллий, графит, алюминий, вода, свинец и воздух. Для сравнения была использована эталонная ВТС из бериллия. Воздух, как материал в наименьшей степени влияющий на поток нейтронов и гамма-квантов, также служит для сравнения.

Для определения изменения плотности потоков нейтронов при замене материала ВТС в ГЭК-4 были выделены 7 одинаковых цилиндрических регистрационных зон (рисунок 2.2). Диаметр цилиндра – 15 см, высота цилиндра – 10 см.

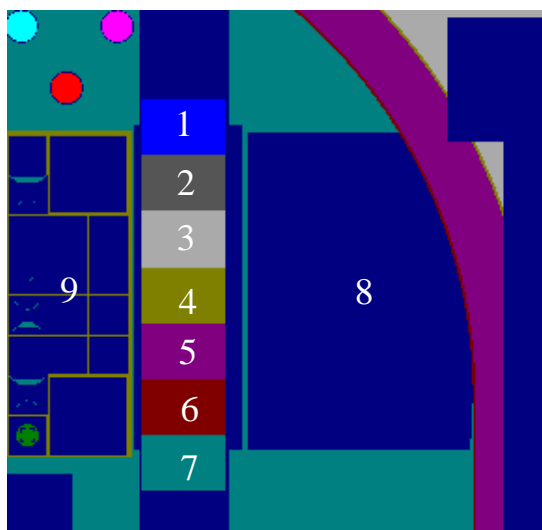


Рисунок 2.2 – Сечение модели реактора с ГЭК-4: 1-7 – регистрационные зоны; 8 – ВТС; 9 – активная зона

На основании полученных расчетных данных была построена зависимость плотности потока нейтронов от расстояния от оси активной зоны (рисунок 2.3).

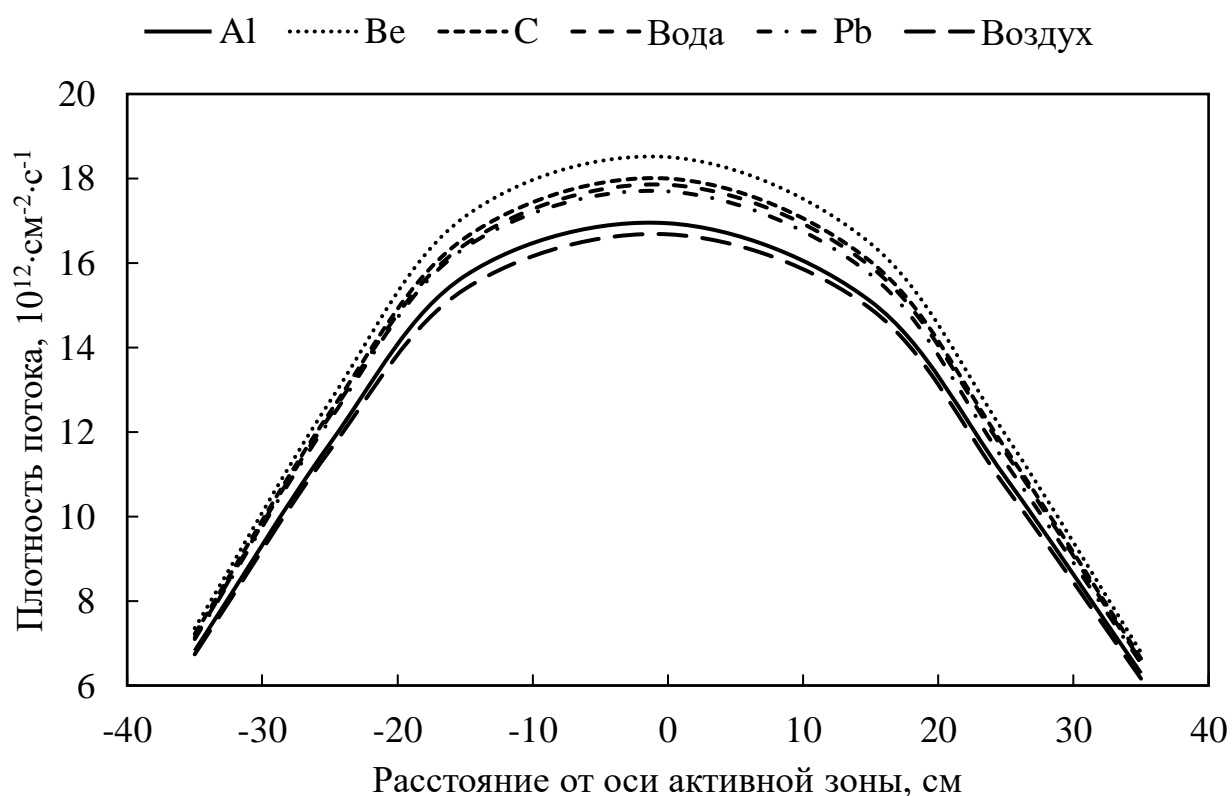


Рисунок 2.3 – Распределение нейтронов тепловой области в ГЭК-4

Из результатов расчета видно, что минимальное влияние на интенсивность плотности потока нейтронов по сравнению с ВТС из бериллия имеет сборка из графита.

Запас реактивности важная величина, на которую может повлиять замена ВТС, следует рассчитать, как она изменяется при использовании различных материалов (таблица 2.1).

Таблица 2.1– Запас реактивности при замене ВТС

Материал ВТС	$k_{\text{eff}}$	$\rho_3$
Al	1,2539	0,20246
Be	1,2540	0,20257
C	1,2541	0,20263
Вода	1,2540	0,20258
Pb	1,2538	0,20242
Воздух	1,2538	0,20244

Из результатов расчета в таблице 2.1 видно, что наибольший запас реактивности наблюдается для ВТС из графита.

Для того чтобы определиться с материалом ВТС также важна интенсивность нейтронов в регистрационной зоне (рисунок 2.1). Результаты расчета плотности потока нейтронов представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Значения плотности потока нейтронов в регистрационной зоне при различных материалах ВТС

Материал ВТС	$\Phi_T, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_3, 10^9 \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_6, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Al	5,1	21,9	4,4
Be	3,8	1,9	0,2
C	8,3	7,2	1,4
Вода	0,1	0,8	0,7
Pb	2,5	9,0	6,4
Воздух	30,4	50,2	31,9

Наибольшую интенсивность нейтронов в регистрационной области обеспечивает воздух, так как его влияние на плотность потока минимально. Следующим по эффективности увеличения плотности потока по сравнению с эталонной ВТС является графит.

Графит не сильно влияет на плотность потока тепловых нейтронов в ГЭК-4 по сравнению с другими материалами.

Таким образом принимая во внимание все результаты расчетов можно сделать вывод, что самым перспективным материалом для ВТС является графит.

Полученную интенсивность потоков можно увеличить двумя способами:

- использование фильтрующих материалов;
- использование конвертера нейтронов.

## 2.2 Оценка влияния фильтрующих материалов на интенсивность нейтронов

Одним из способов влияния на интенсивность нейтронов является размещение фильтрующих материалов на пути пучка. Для исследования изменения интенсивности нейтронных потоков в регистрационной зоне в ВТС был размещен фильтр конической формы (рисунок 2.5). Коническая форма фильтра играет роль коллиматора пучка нейтронов.

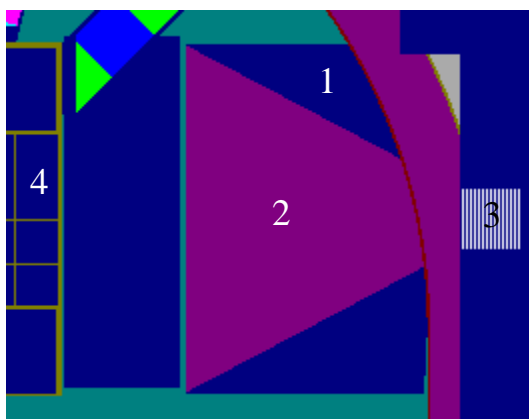


Рисунок 2.5 – Сечение модели реактора с фильтром в ВТС: 1 – замененная на сплошной блок ВТС; 2 – фильтр; 3 – регистрационная зона; 4 – активная зона

В качестве материалов для фильтров использовались: алюминий, бериллий, кремний, трифторид алюминия, фторид магния. Результаты расчетов плотности потоков в регистрационной зоне представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения плотности потока нейтронов в регистрационной зоне при различных фильтрующих материалах

Фильтрующий материал	$\Phi_T, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_3, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_6, 10^9 \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Al	6,3	2,2	2,6
AlF <sub>3</sub>	17,9	3,7	12,3
Be	4,4	0,2	0,6
MgF <sub>2</sub>	12,8	1,9	5,3
Si	27,0	4,2	19,5

Из полученных результатов можно сделать вывод, что эффективнее всего повышает интенсивность нейтронов кремний. Однако для реализации установок и проведения облучения требуется высокая интенсивность эпитепловых нейтронов, что не смог обеспечить ни один из исследуемых фильтрующих материалов.

В данном случае применение фильтрующих материалов может улучшить эффективность конвертера нейтронов.

Конвертер нейтронов используется для повышения интенсивности нейтронов. Конвертер представляет собой делящийся материал, генерирующий быстрые нейтроны при поглощении теплового. Использование конвертера позволит получить высокоинтенсивный пучок нейтронов.

### **2.3 Обоснование возможности использования конвертера нейтронов**

В качестве конвертера нейтронов предполагается использование ТВС ИРТ-3М. Точно такие же ТВС располагаются в активной зоне реактора ИРТ-Т. Определим влияние на ГЭК-4, изменение спектров нейтронов в

регистрационной области, а также отследим изменение запаса реактивности и рассчитаем энерговыделение при использовании конвертера, состоящего из 2, 4 и 6 ТВС (рисунок 2.7).

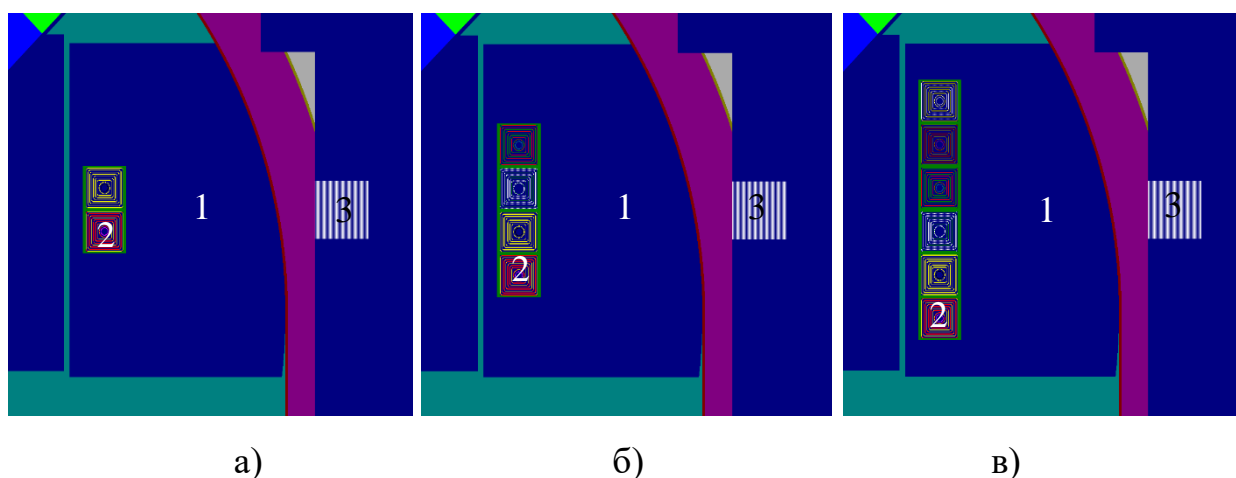


Рисунок 2.7 – Конвертер нейтронов из: а) 2 ТВС; б) 4 ТВС; в) 6 ТВС: 1 – ВТС; 2 – конвертер нейтронов; 3 – регистрационная зона

Выбор крайнего левого положения для конвертера объясняется тем, что при данной конфигурации влияние материала ВТС на конвертер минимально.

Для определения влияния конвертера из 2, 4 и 6 ТВС на ГЭК-4, в последнем было выделено 7 регистрационных зон (рисунок 2.2). Результаты расчета распределения плотности потока тепловых нейтронов от расстояния от оси активной зоны представлен на рисунке 2.8.

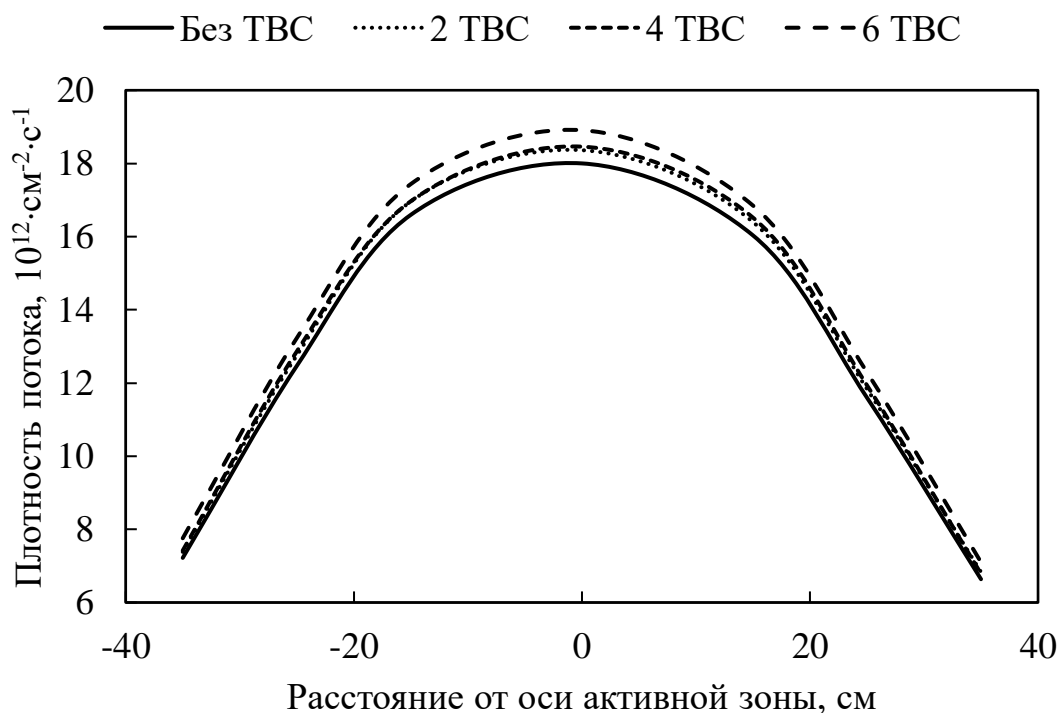


Рисунок 2.8 – Распределение нейтронов тепловой области в ГЭК-4 при использовании конвертера

Влияние на плотность потока тепловых нейтронов в ГЭК-4 незначительно и с последовательным увеличением количества ТВС практически не возрастает. Менее всего влияние на плотность потока тепловых нейтронов в ГЭК-4 оказывает конвертер из 2 и 4 ТВС.

Также была рассчитана плотность потоков нейтронов в исследуемой регистрационной области. Результаты расчетов представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значения плотности потока нейтронов в регистрационной зоне при различных количествах ТВС в конвертерах нейтронов

Количество ТВС	$\Phi_T, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_3, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_6, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Без	8,3	0,7	0,1
2	8,1	5,0	1,7
4	8,6	8,2	3,3
6	8,8	10,0	4,1



Из результатов расчета видно, что при увеличении количества ТВС в конвертере возрастает и плотность потока нейтронов.

Расчет запаса реактивности при отсутствии и наличии конвертера с 2, 4 и 6 ТВС представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Запас реактивности при использовании конвертера

Количество ТВС	$k_{\text{eff}}$	$\rho_3$
Без	1,2541	0,20263
2	1,2541	0,20259
4	1,2545	0,20284
6	1,2542	0,20267

Как видно из таблицы 2.5 наибольший запас реактивности обеспечивает конвертер из 4 ТВС.

Важным является рассмотрение распределения энерговыделения топлива в конвертере в каждой ТВС по высоте и местоположению (рисунок 2.10, 2.11 и 2.12). ТВС пронумерованы по порядку сверху вниз по расчетной модели и по высоте разделены на 6 одинаковых по размеру зон. Высота ТВС составляет 58 см.

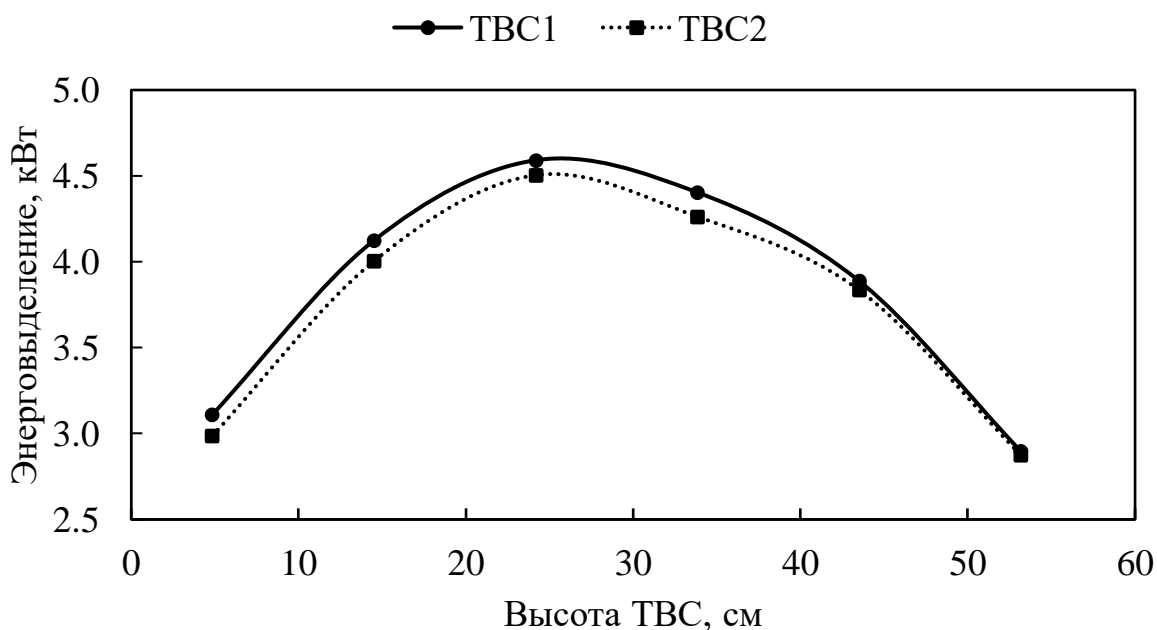


Рисунок 2.10 – Распределение энерговыделения топлива в конвертере из 2 ТВС

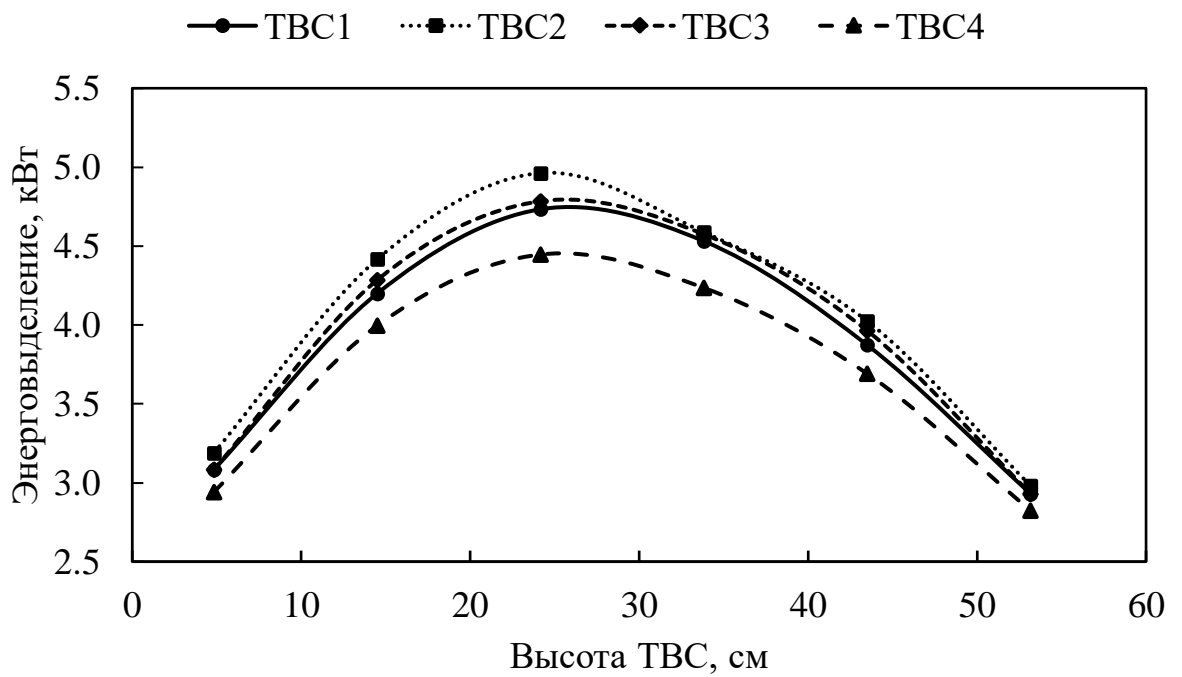


Рисунок 2.11 – Распределение энерговыведения топлива в конвертере из 4 ТВС

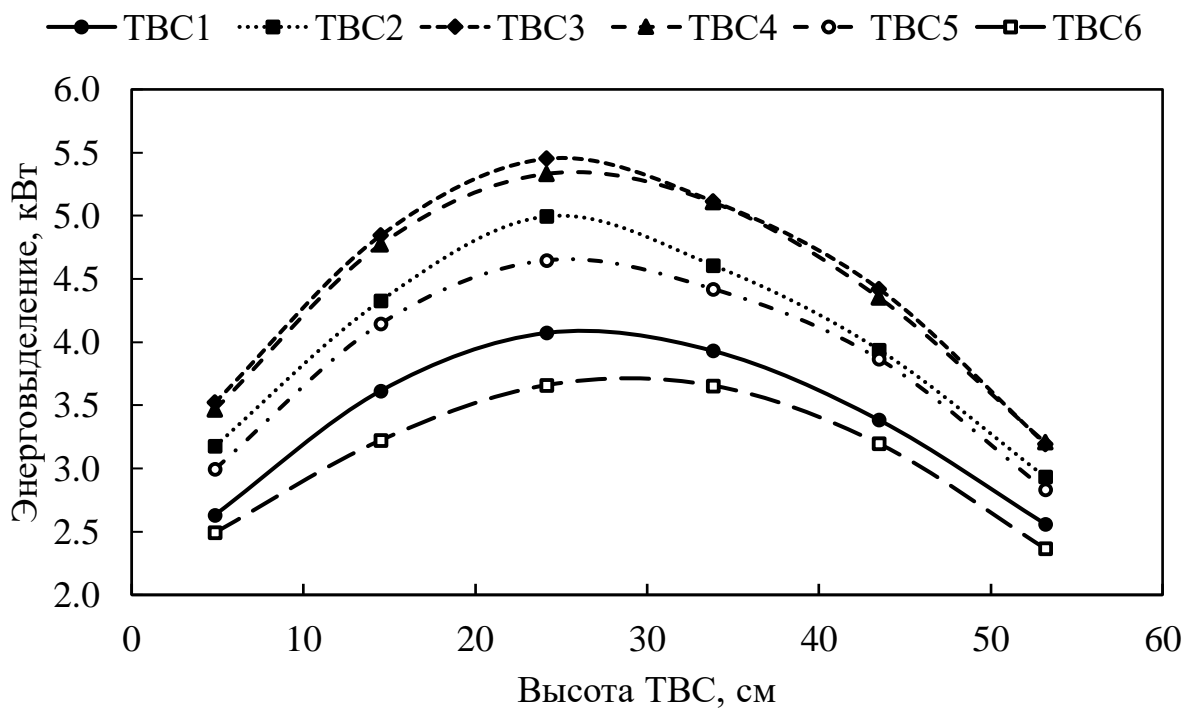


Рисунок 2.12 – Распределение энерговыведения топлива в конвертере из 6 ТВС

По результатам расчетов видно, что в исследуемой регистрационной зоне плотность потока эпитепловых и быстрых нейтронов возросли при использовании конвертера. При использовании конвертера из 2 ТВС плотность потока эпитепловых нейтронов увеличилась в 7 раз, а поток быстрых нейтронов

увеличился в 12 раз. При дальнейшем добавлении по две ТВС в конвертер интенсивность нейтронного потока возрастает на 62,5% и 89% для эпитепловых и быстрых нейтронов соответственно, для конвертера из 6 ТВС по отношению к конвертеру из 4 ТВС – на 21,8% и 25,2%.

Таким образом из приведенного выше анализа следует, что использование конвертера нейтронов из 6 ТВС экономически невыгодно, так как при увеличении количества ТВС в конвертере на два интенсивность нейтронного потока возрастает всего на 20 – 25%, по сравнению с переходом от конвертера из 2 ТВС к конвертеру из 4 ТВС.

Для конвертера из 4 ТВС были рассчитаны температуры поверхности ТВС. Тепловыделяющая сборка была представлена в виде цилиндра с равномерно распределенными по объему внутренними источниками тепла, также были заданы следующие два параметра: постоянный по всей поверхности коэффициент теплоотдачи и температура окружающей среды – воды.

Удельный тепловой поток с единицы поверхности цилиндра определяется по формуле:

$$q = \alpha(t_n - t_e) = \frac{q_v r}{2}, \quad (2.1)$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$t_n$  – температура поверхности ТВС, °С;

$t_e$  – температура воды, °С;

$q_v$  – объемная плотность тепловыделения в ТВС, Вт/м<sup>3</sup>;

$r$  – радиус цилиндра эквивалентного ТВС, м.

Из выражения (2.1) выразим  $t_n$ , получим:

$$t_n = t_e + \frac{q_v r}{2\alpha}. \quad (2.2)$$

Значение коэффициента теплоотдачи было принято равным  $\alpha = 25000$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С), температура воды –  $t_e = 45$  °С, радиус цилиндра –  $r = 0,04$  м. Из

расчетов энерговыделения были получены значения для объемной плотности тепловыделения. Результаты вычислений температур по формуле (2.2) представлены на рисунках 2.13, 2.14 и 2.15.

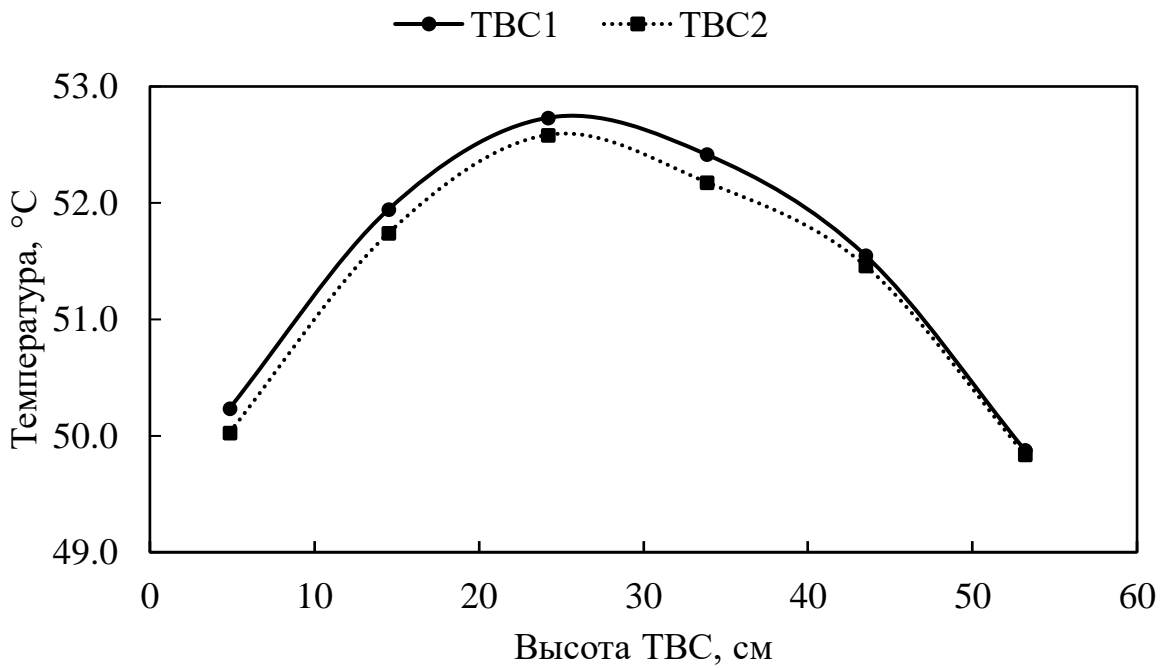


Рисунок 2.13 – Распределение температур на поверхности в конвертере из 2 ТВС

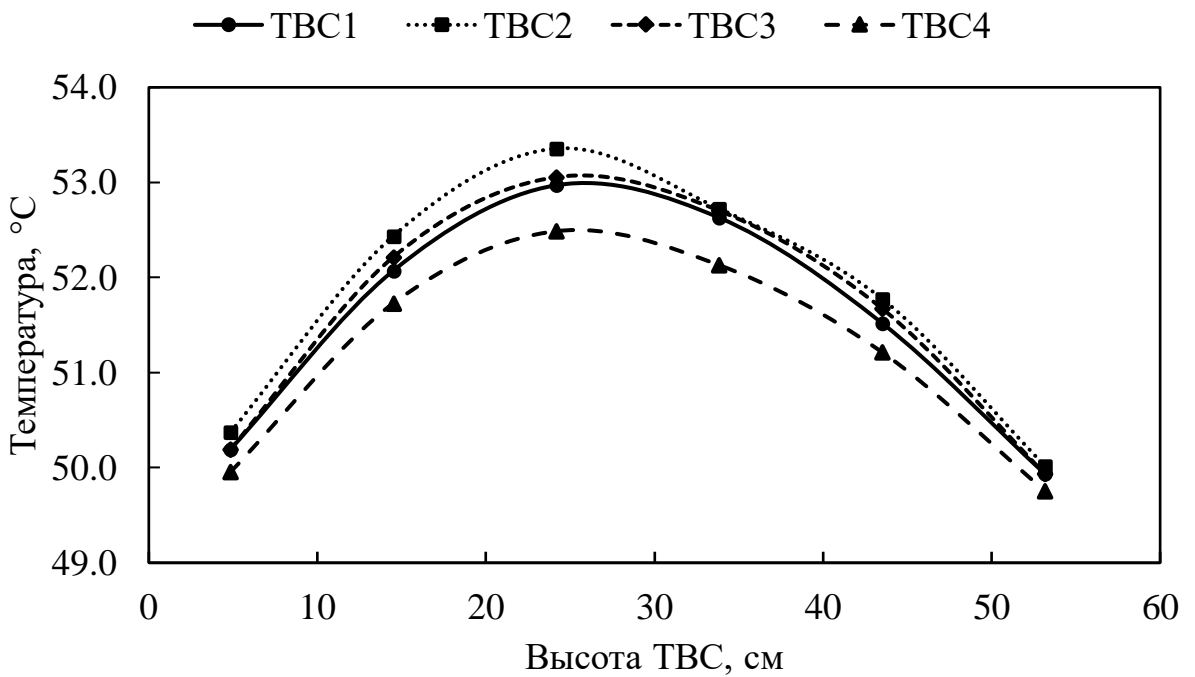


Рисунок 2.14 – Распределение температур на поверхности в конвертере из 4 ТВС

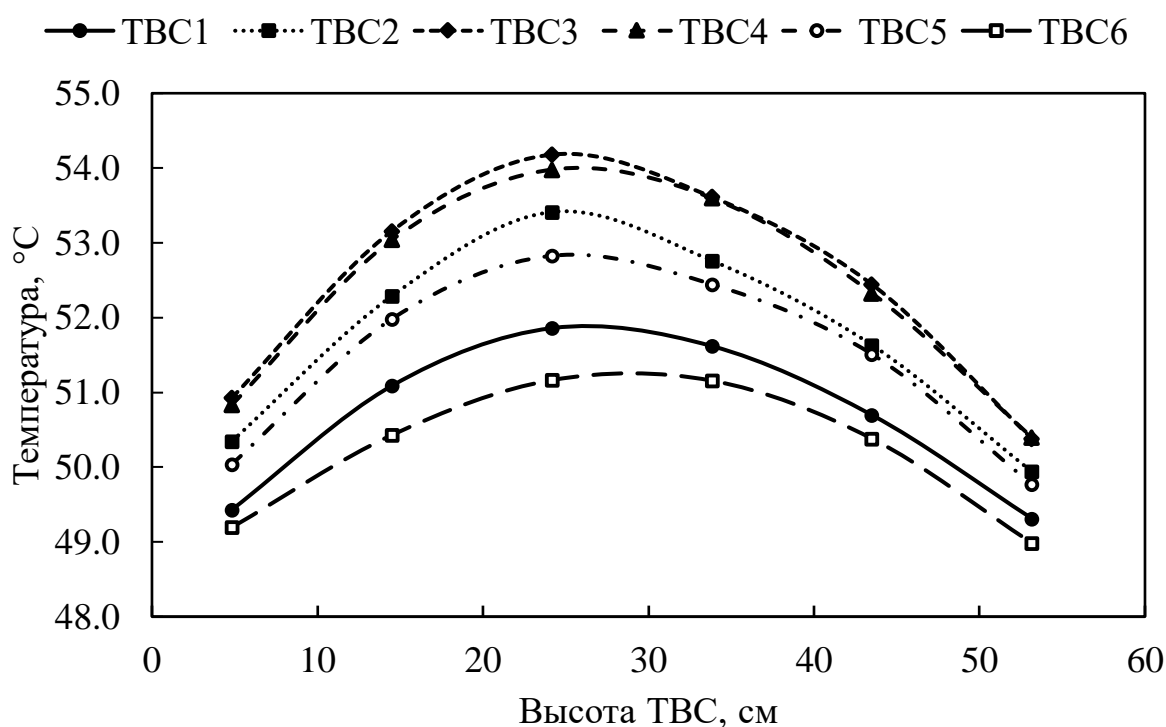


Рисунок 2.15 – Распределение температур на поверхности в конвертере из 6 ТВС

Полученные температуры соответствуют условиям эксплуатации ТВС и не достигают температуры начала поверхностного кипения равной 123°C.

Таким образом конвертер из 4 ТВС является самым оптимальным выбором. Однако его использование в совокупности с фильтрующими материалами и варьирование положения может существенно увеличить его эффективность.

#### 2.4 Определение оптимального фильтрующего материала конвертера и его расположения

В качестве фильтрующих материалов перед конвертером нейтронов были использованы  $AlF_3$ ,  $MgF_2$ , Si и воздух. Воздух, как материал в наименьшей степени влияющий на поток нейтронов, служит для сравнения. Выбор других материалов обусловлен высокой температурой плавления. Форма фильтра представляет собой усеченный конус. Такая форма играет роль коллиматора пучка нейтронов. Одновременно с материалом фильтра менялось

и расстояние от левого края ВТС до конвертера, а соответственно и размеры фильтра (рисунок 2.16).

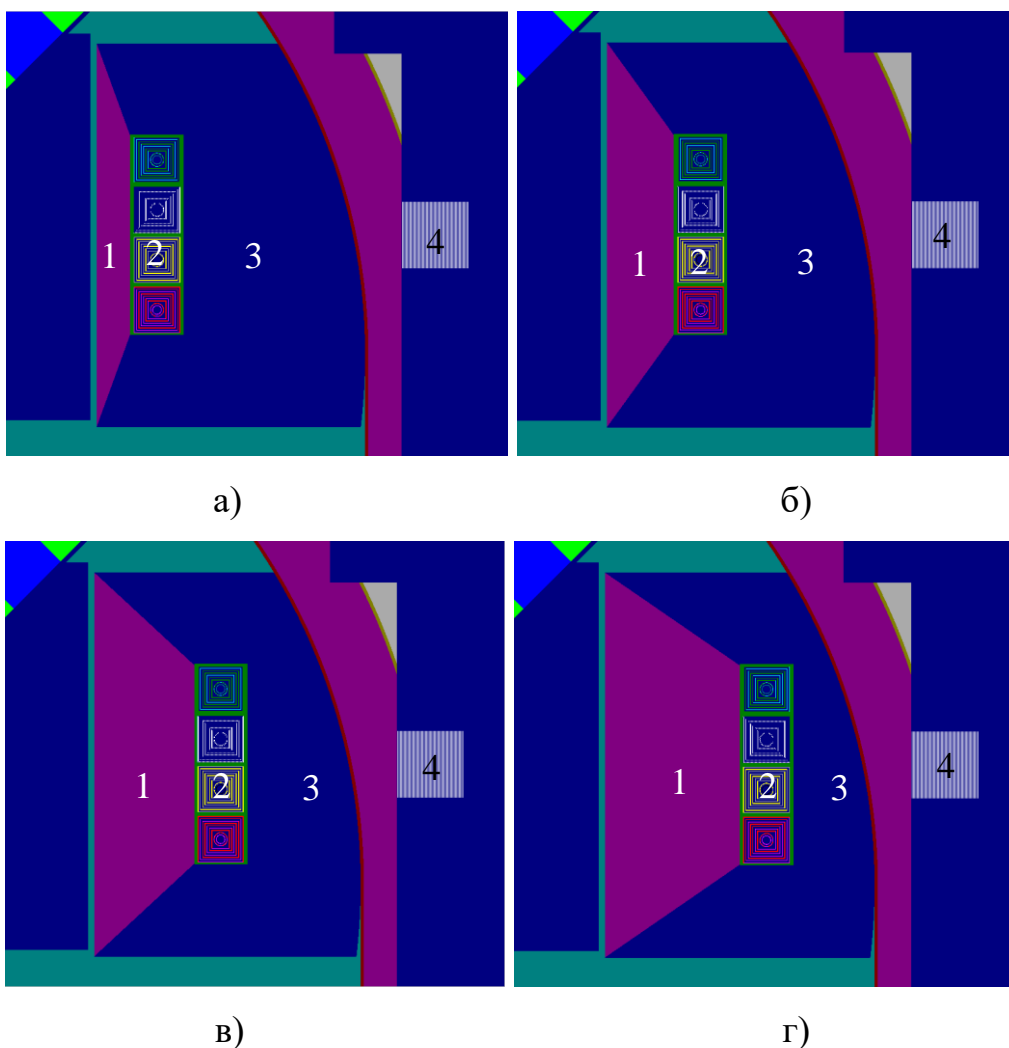


Рисунок 2.16 – Конвертер нейтронов, состоящий из 4 ТВС с фильтром на расстоянии: а) 5 см; б) 10 см; в) 15 см; г) 20 см от левого края ВТС: 1 – фильтр до конвертера; 2 – конвертер нейтронов; 3 – ВТС; 4 – регистрационная зона

Результаты расчета плотности потока нейтронов в исследуемой регистрационной области в зависимости от расстояния от левого края ВТС представлены на рисунках 2.17, 2.18 и 2.19.

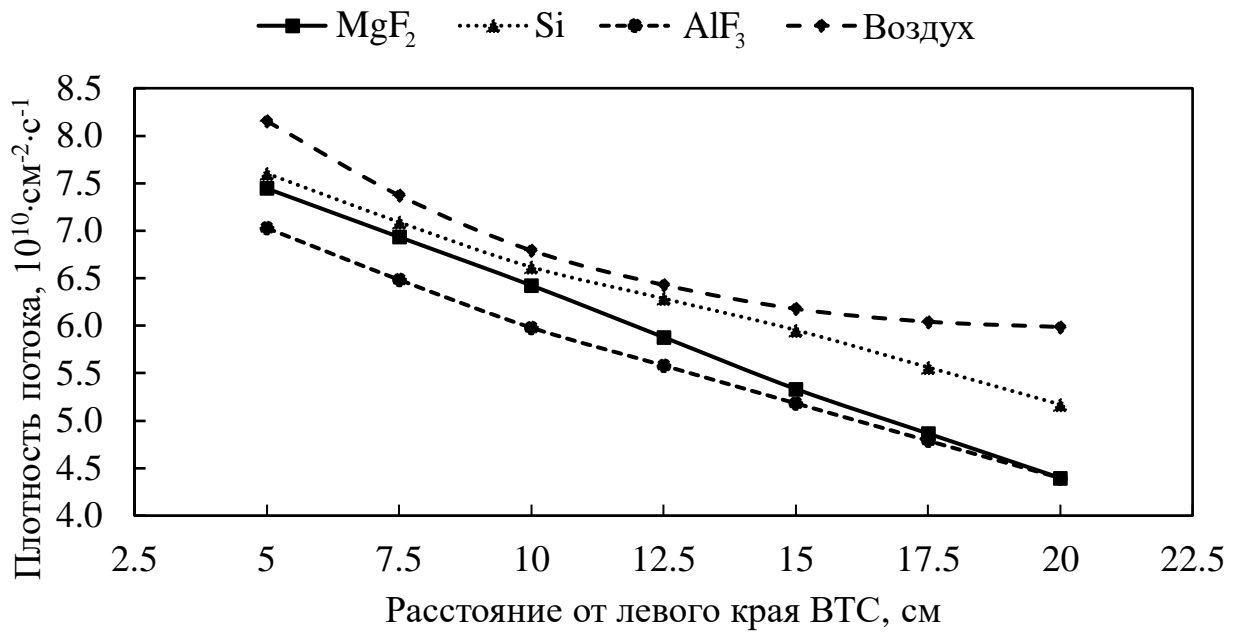


Рисунок 2.17 – Зависимость плотности потока тепловых нейтронов от расстояния от левого края ВТС

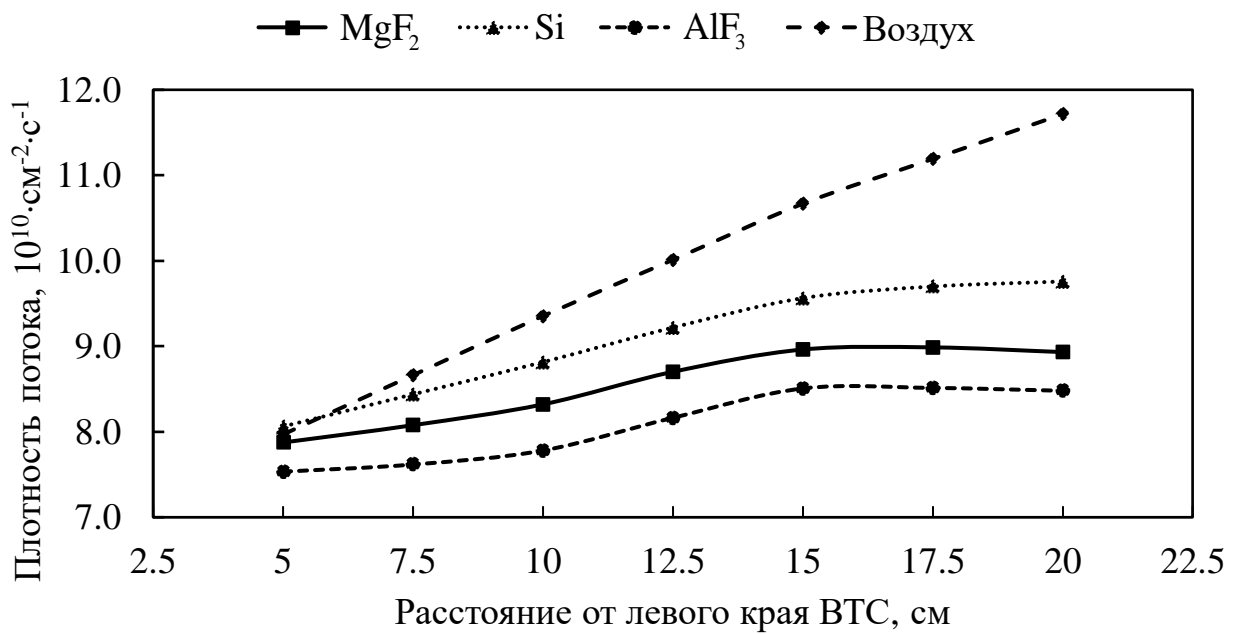


Рисунок 2.18 – Зависимость плотности потока эпитепловых нейтронов от расстояния от левого края ВТС

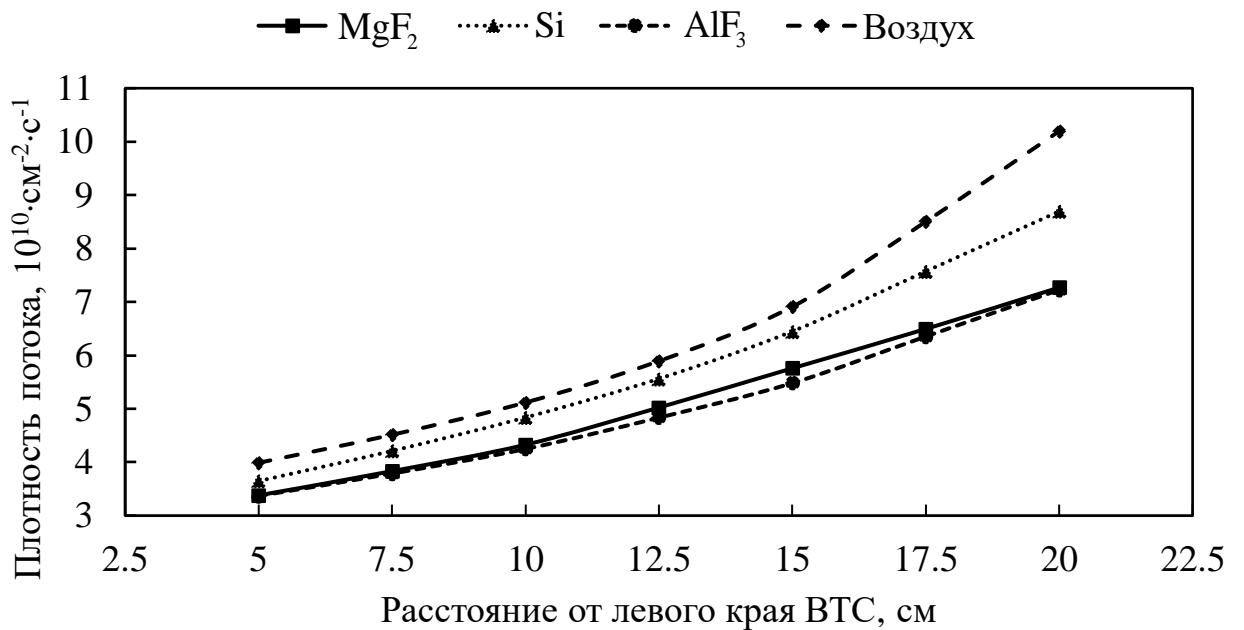


Рисунок 2.19 – Зависимость плотности потока быстрых нейтронов от расстояния от левого края ВТС

Из представленных графиков можно сделать вывод, что кремниевый фильтр является наиболее эффективным, так как с увеличением расстояния поток тепловых нейтронов снижается менее всего по сравнению с другими фильтрами. Также кремниевый фильтр обеспечивает наибольшее увеличение интенсивности потока эпитепловых и быстрых нейтронов.

Зависимости на рисунках 2.18 и 2.19 для кремниевого фильтра показывают, что при удалении конвертера от левого края ВТС интенсивность потоков растет, однако при увеличении расстояния более чем на 15 см наблюдается спад роста эпитепловых нейтронов и дальнейшее увеличение расстояния неэффективно. Также при близком расположении конвертера к баку реактора возникает необходимость разработки дополнительной биологической защиты, что является отрицательным фактором.

Допустимым удалением конвертера от левого края ВТС является 15 см, так как при большем удалении увеличивается интенсивность нейтронного излучения, что требует дополнительной биологической защиты, и уменьшается скорость реакций деления в ТВС, находящихся в конвертере.



Для получения высокой интенсивности потоков нейтронов определенных энергий могут использоваться фильтрующие материалы после конвертера.

## 2.5 Определение оптимального фильтрующего материала после конвертера и его размеров

Следующим шагом по увеличению интенсивности потоков нейтронов является использование фильтрующих материалов после конвертера (рисунок 2.20).

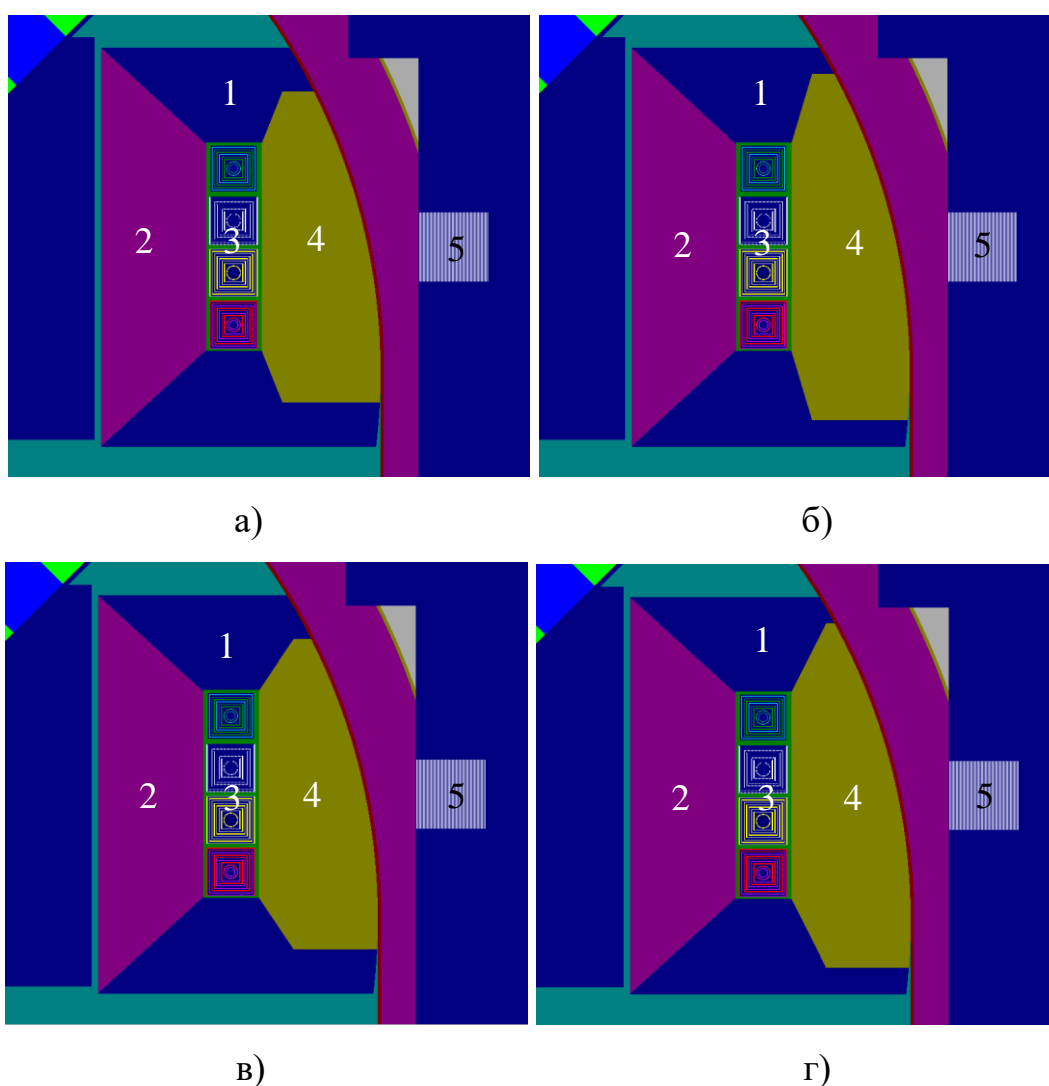


Рисунок 2.20 – Конвертер нейтронов с фильтрами до и после: а) высота конуса – 3 см, радиус цилиндра – 22,5 см; б) высота конуса – 3 см, радиус цилиндра – 25 см; в) высота конуса – 5 см, радиус цилиндра – 22,5 см; г) высота конуса – 5

см, радиус цилиндра – 25 см: 1 – ВТС; 2 – фильтр до конвертера; 3 – конвертер нейтронов; 4 – фильтр после конвертера; 5 – регистрационная зона

Фильтр после конвертера нейтронов представляет собой усеченный конус переходящий в цилиндр. Данная форма обеспечивает наименьшие потери плотности потока нейтронов за счет расширения и за счет отражения нейтронов от границы фильтр – ВТС. Для определения оптимальных размеров варьировались два параметра: высота усеченного конуса – Н (3 и 5 см) и радиус цилиндра – R (22,5 и 25 см). В качестве фильтрующего материала был выбран воздух, так как его влияние на плотность потока нейтронов минимально. Результаты расчетов плотности потока нейтронов в регистрационной зоне приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Значения плотности потока нейтронов в регистрационной зоне при различных размерах фильтра после конвертера

Высота усеченного конуса Н, см	Радиус цилиндра R, см	$\Phi_T, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_3, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_6, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
3	22,5	6,5	11,7	13,0
	25	6,8	11,1	13,3
5	22,5	6,5	12,2	14,4
	25	6,7	11,1	13,4

Результаты показали, что наибольшая интенсивность эпитепловых нейтронов достигается при высоте конуса равной 5 см и радиусе цилиндра 22,5 см, однако при данной конфигурации достигается максимальная интенсивность плотности потока быстрых нейтронов, что является нежелательным фактором, так как в дальнейшем придется использовать фильтрующие конструкции для снижения их интенсивности. Таким образом значение высоты конуса было выбрано равным 3 см, а радиуса – 22,5 см.

Следующим шагом подбирался наиболее эффективный фильтрующий материал из следующих:  $\text{AlF}_3$ ,  $\text{MgF}_2$ , Si, Ti и воздух. Результаты расчета спектров нейтронов представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Значения плотности потока нейтронов в регистрационной зоне при различных материалах фильтра после конвертера

Фильтрующий материал	$\Phi_T, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_3, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	$\Phi_6, 10^{10} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$
Без фильтра	6,0	9,5	6,5
Si	6,6	11,6	12,1
$\text{AlF}_3$	6,0	11,4	11,0
$\text{MgF}_2$	5,8	10,3	10,2
Ti	0,5	6,0	8,1
Воздух	6,5	11,7	13,0

Из результатов расчета видно, что кремниевый фильтр обеспечивает наибольшую интенсивность нейтронного потока из представленных материалов.

Таким образом наиболее эффективной конструкцией для получения максимальной плотности потока нейтронов является графитовая внутренняя тепловая сборка с конвертером нейтронов состоящем из 4 ТВС и с двумя кремниевыми фильтрами до и после него.

## **Глава 3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Выполнение грамотной научно-исследовательской работы требует наличия экономической оценки всех её элементов: как объекта исследования, так и методов, которые для этого используются.

Целью данного раздела является комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов модернизации внутренней тепловой сборки (ВТС) реактора ИРТ-Т в условиях современного рынка. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- провести SWOT-анализ;
- выявить структуру работ и их исполнителей;
- определить трудоемкость проводимых работ;
- разработать график проведения исследования;
- рассчитать размер бюджета исследования;
- оценить экономическую эффективность проекта.

### **3.1 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ любого научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта [10,11].

Сильными сторонами могут являться факторы, которые отражают наиболее конкурентоспособную сторону рассматриваемой установки.

Сильными сторонами проекта модернизации ВТС реактора ИРТ-Т можно назвать следующие свойства и особенности:

- увеличение суммарного количества экспериментальных устройств;
- получение большей глубины выгорания топлива;

– первый внутрибаковый конвертер нейтронов на базе исследовательских реакторов.

Слабыми сторонами считаются те особенности рассматриваемого объекта, которые могут препятствовать его наиболее выгодному и беспрепятственному использованию.

Слабыми сторонами рассматриваемого проекта модернизации можно назвать следующие свойства и особенности:

- разработка дополнительной биологической защиты;
- дополнительные затраты на приобретение ТВС для конвертера нейтронов;
- дополнительные отходы в виде облученного графита и ТВС для конвертера.

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

К возможностям проекта модернизации ТВС реактора ИРТ-Т можно отнести:

- возможность создания установки для нейтрон-захватной терапии;
- предоставление дополнительных рабочих мест;
- снижение стоимости облучения мишеней;
- увеличение объема производства радиофармпрепаратов.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды объекта, что может иметь разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем [10,11].

К угрозам по отношению к рассматриваемому реактору можно отнести:

- природные катаклизмы;
- снижение государственного финансирования развития атомной энергетики;

– диверсионные и террористические действия.

Рассматриваемый проект по модернизации представляет собой, в первую очередь, улучшение экспериментальной установки, не способное самостоятельно без особых проблем проникнуть на рынок – ему необходима поддержка не только производителя, но и эксплуатирующего предприятия (при условии, что это разные организации). Таким образом, выход из данного положения может помочь найти стратегия совместной предпринимательской деятельности, которая основана на объединении усилий как поставщика, так и коммерческих предприятий страны-партнёра для создания производственных и маркетинговых мощностей. В таблице 3.1 представлен SWOT-анализ [10,11].

Таблица 3.1 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны:</b></p> <p>С1. Увеличение суммарного количества экспериментальных устройств.</p> <p>С2. Получение большей глубины выгорания топлива.</p> <p>С3. Первый внутрибаковый конвертер нейтронов на базе исследовательских реакторов.</p>	<p><b>Слабые стороны:</b></p> <p>Сл1. Разработка дополнительной биологической защиты.</p> <p>Сл2. Дополнительные затраты на приобретение ТВС для конвертера нейтронов.</p> <p>Сл3. Дополнительные отходы в виде облученного графита и ТВС для конвертера.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Возможность создания установки для нейтрон-захватной терапии.</p> <p>В2. Предоставление дополнительных рабочих мест.</p> <p>В3. Снижение стоимости облучения мишеней.</p> <p>В4. Увеличение объема производства радиофармпрепаратов.</p>	<p>1. Увеличение суммарного количества экспериментальных устройств приведёт к низкой себестоимости облучения различных мишеней, что повысит конкурентоспособность ИУ на рынке.</p> <p>2. Улучшение эксплуатационных характеристик установки приведёт к снижению стоимости облучения различных мишеней.</p>	<p>Перспективные возможности проекта модернизации положительно влияют на его привлекательность и могут заинтересовать новых инвесторов к окончательной реализации проекта с решением многих производственных задач.</p>

### Продолжение таблицы 3.1

<p><b>Угрозы:</b>          У1. Природные катаклизмы.          У2. Снижение государственного финансирования развития атомной энергетики.          У3. Диверсионные и террористические действия.</p>	<p>1. Возможность сдерживать большое количество как внешних, так и внутренних разрушительных факторов на ИУ, уменьшается риск аварии, связанной как с природными явлениями, так и с действиями террористических и диверсионных групп.          2. Постоянная работа исследовательского реактора вызывает дополнительный интерес у государства.</p>	<p>1. При всей защищённости реактора высок риск утечки теплоносителя при техногенной или природной катастрофе.          2. Увеличивается риск разнесения ядерных отходов при содействии всевозможных недоброжелателей, в связи с их сравнительно большим накоплением.</p>
--	--	---

Проведённый SWOT-анализ позволяет с достаточной для данной работы точностью определять дальнейшее положение рассматриваемого объекта на соответствующем рынке. Конкретно у проекта модернизации в связи с отличными характеристиками достаточно устойчивые перспективы для использования профильными компаниями атомной отрасли и смежных отраслей. Однако отсутствие финансирования проектов модернизации ИРТ-Т уменьшает вероятность дальнейшей проработки проекта.

### 3.2 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Данный пункт представляет собой полный перечень проводимых работ, где определяются их исполнители и рациональная продолжительность. Наглядным и достаточно объективным результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Так как число исполнителей не превышает двух, предпочтительным является линейный график. Для его построения хронологически упорядоченные сведения о выполнении данной работы представлены в таблице 3.2 [10].

Таблица 3.2 – Перечень работ и загрузка исполнителей

Этап работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 20% И – 100%
Выбор исходных параметров	НР, И	НР – 100% И – 70%
Методика расчета	НР, И	НР – 100% И – 80%
Нейтронно-физический расчет ЯР	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Как видно из представленной выше таблицы, роль «НР» в ходе выполнения всех видов работ сводится к направляющей и контролирующей функциям, когда как «И» является исполнительным звеном – он выполняет все поставленные задачи для достижения установленной цели.

### 3.2.1 Продолжительность этапов работ

Продолжительность этапов работ может быть рассчитана следующими двумя методами:

- технико-экономическим;
- опытно-статистическим [10].

Первый метод подразумевает наличие и использование соответствующей нормативной базы трудоёмкости всех применяемых в работе процессов, так как они по своей природе являются повторяющимися с достаточно высокой частотой при условии стандартной, устойчивой



обстановки. В связи с тем, что подобными нормативами исполнитель не обладает в виду нестандартности и неравномерности распределения рабочих усилий применяется опытно-статистический метод, который реализуется двумя способами:

- аналоговый;
- экспертный.

Способ с применением достаточно актуальных, как с точки зрения времени, так и со стороны реальной применимости аналогов к разрабатываемой НИР имеет ряд преимуществ: он относительно прост в исполнении и не сопряжён с большим количеством затрат. Однако на практике он может быть слишком локальным и применяться только для отдельных элементов – невозможно найти абсолютно идентичных работ.

Второй способ – экспертный – применим в ситуации, когда аналоги выполняемой НИР отсутствуют. Он предполагает генерацию необходимых количественных оценок специалистами конкретной предметной области, опирающимися на их профессиональный опыт и эрудицию.

Для определения вероятных значений продолжительности работ  $t_{\text{ож}}$  может применяться одна из двух формул.

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min}} + 2t_{\text{max}}}{5}, \quad (3.1)$$

$$t_{\text{ож}} = \frac{t_{\text{min}} + 4t_{\text{prob}} + t_{\text{max}}}{6}, \quad (3.2)$$

где  $t_{\text{min}}$  – минимальная продолжительность работы, сут.;

$t_{\text{max}}$  – максимальная продолжительность работы, сут.;

$t_{\text{prob}}$  – наиболее вероятная продолжительность работы, сут.

Как видно из самой конструкции формул, вторая требует большего анализа каждого из элементов работы и вероятностной оценки их продолжительности, что, очевидно, усложняет все расчеты [10].

Для выполнения перечисленных в таблице 3.2 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни.

Расчёт продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях:

$$T_{\text{рд}} = \frac{t_{\text{ож}}}{K_{\text{вн}}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (3.3)$$

где  $K_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей;

$K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ.

Расчёт продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}, \quad (3.4)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни;

$T_{\text{вд}}$  – выходные дни;

$T_{\text{пд}}$  – праздничные дни.

При учёте, что  $T_{\text{кал}} = 365$ ,  $T_{\text{вд}} = 52$ ,  $T_{\text{пд}} = 10$ .

В приложении В приведен пример определения продолжительности этапов работ и их трудоёмкости по исполнителям, занятым на каждом этапе. В столбцах 3 – 5 реализован экспертный способ по формуле 3.1. Столбцы 6 и 7 содержат величины трудоёмкости этапа для каждого из двух участников проекта, научного руководителя и инженера, с учетом коэффициента  $K_{\text{д}} = 1,15$ . Каждое из них в отдельности не может превышать соответствующее значение  $t_{\text{ож}} \cdot K_{\text{д}}$  [10]. Столбцы 8 и 9 – трудоёмкости, выраженные в календарных днях

путем дополнительного умножения на  $T_k = 1,212$ . Итог по столбцу 5 даёт общую ожидаемую продолжительность работы над проектом в рабочих днях, итоги по столбцам 8 и 9 – общие трудоёмкости для каждого из участников проекта. Величины трудоёмкости этапов по исполнителям ТКД, данные столбцов 8 и 9 кроме итогов, позволяют построить диаграмму Ганта, представленную в приложении Г.

### 3.3 Расчёт накопления готовности проекта

Текущее состояние работы над проектом нуждается в оценке для точного понимания всех затраченных усилий. Получаемые по итогу подобной оценки величины (величины накопления готовности работы) отображают количество процентов, на которое выполнен весь объём работ по проекту в целом по окончании текущего ( $i$ -го) этапа.

Введём некоторые обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$  – общая трудоёмкость проекта;
- $TP_i (TP_k)$  – трудоёмкость  $i$ -го ( $k$ -го) этапа проекта,  $i = \overline{1, I}$ ;
- $TP_i^H$  – накопленная трудоёмкость  $i$ -го этапа проекта по его завершении;
- $TP_{ij} (TP_{kj})$  – трудоёмкость работ, выполняемых  $j$ -м участником на  $i$ -м этапе, здесь  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя, в нашем примере  $m = 2$ .

Степень готовности определяется формулой (3.5):

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}. \quad (3.5)$$

Применительно к таблице, представленной в приложении В, величины  $TP_{ij} (TP_{kj})$  находятся в столбцах (6,  $j = 1$ ) и (7,  $j = 2$ ). Величина  $TP_{\text{общ}}$  равна сумме чисел из итоговых клеток этих столбцов. Расчет  $TP_i(\%)$  и  $CG_i (\%)$  на основе этих данных содержится в таблице 3.3 [10].

Таблица 3.3 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	ТР <sub>i</sub> , %	СГ <sub>i</sub> , %
Постановка задачи	3,74	3,74
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	7,05	10,79
Подбор и изучение материалов по тематике	14,57	25,36
Разработка календарного плана	4,11	29,47
Обсуждение литературы	4,48	33,95
Выбор исходных параметров	12,69	46,64
Методика расчета	20,16	66,80
Нейтронно-физический расчет	17,08	83,88
Оформление расчетно-пояснительной записки	6,40	90,28
Оформление графического материала	3,74	94,02
Подведение итогов	5,99	100,00

Очевидно, что наибольшее количество трудозатрат приложено на этапах подбора и изучения материала по тематике, проработки методики расчёта и при его непосредственном осуществлении, когда как этапы, включающие подбор и оформление различного рода документов, подготовку необходимой базы для проведения практических изысканий по отдельности потребовали меньше времени и сил.

### 3.4 Расчёт сметы на выполнение проекта

Смета на выполнение данного исследования содержит все расходы, необходимые для осуществления комплекса работ, необходимых для реализации всего спектра поставленных перед проектом задач [10]. Расчёт полной (сметной) стоимости выполнения исследования производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;

- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

### 3.4.1 Расчёт затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 рублей включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того, статья включает, так называемые, транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (транзакции). Приблизённо они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это 5 – 20 %.

Результаты расчета затрат на материалы без учета транзакций, представлены в таблице 3.4 [10].

Таблица 3.4 – Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Бумага для принтера формата А4	260	1 уп.	260
Картридж для принтера	1040	1 шт.	1040
Итого:			1300

Допустим, что ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны:

$$C_{\text{МАТ}} = 1300 \cdot 1,05 = 1365.$$

Таким образом затраты на материалы по разработке проекта модернизации ВТС реактора составили 1365 рублей.

### 3.4.2 Расчёт заработной платы

Данная статья расходов подразумевает суммарную заработную плату научного руководителя и инженера (исполнителя), с учётом входящих в фонд заработной платы различных премий. Основная заработная плата рассчитывается, опираясь на трудоёмкость выполнения каждого этапа и на величину месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{\text{дн-т}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{25,083}, \quad (3.6)$$

где 25,083 – среднее количество рабочих дней в месяце при шестидневной рабочей неделе.

Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из приложения А. Учёт всевозможных премий и районной надбавки осуществляется путём использования ряда коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,3$ ;  $K_{\text{ДОП.ЗП}} = 1,2$ ;  $K_{\text{Р}} = 1,3$  [10]. Таким образом, для перехода от тарифной суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку необходимо первую умножить на интегральный коэффициент:

$$K_{\text{И}} = K_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{ДОП.ЗП}} \cdot K_{\text{Р}}, \quad (3.7)$$

$$K_{\text{И}} = 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 2,028.$$

Расчёта затрат на полную заработную плату приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	$K_{и}$	Фон з/п, руб.
НР	35120	1400,15	17	2,028	48271,57
И	12130	483,59	26	2,028	25498,73
Итого:					73770,30

Как можно видеть из таблицы 3.5 значение фонда заработной платы, необходимое для осуществления работ, составило 73770,30 рублей.

### 3.4.3 Расчёт затрат на страховые взносы

Затраты на страховые взносы, включающие в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование согласно ФЗ от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30% [10,12]. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, вводится ставка – 30,2%:

$$C_{\text{соц}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,302, \quad (3.8)$$

$$C_{\text{соц}} = 73770,30 \cdot 0,302 = 22278,63 \text{ руб.}$$

Таким образом, размер отчислений во внебюджетные фонды составили 22278,63 рублей. Данные взносы идут в Фонд государственного социального страхования (ФСС), Пенсионный фонд (ПФ) и Фонд медицинского страхования (ФФОМС).

### 3.4.4 Расчёт затрат на электроэнергию

Данные расходы подразумевают затраты на то количество электроэнергии, которое потрачено для выполнения всего проекта, то есть на работу используемого оборудования. Они рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (3.9)$$

где  $P_{\text{ОБ}}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{ОБ}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $C_{\text{Э}} = 5,748$  руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования рассчитывается на основе суммарной трудоёмкости работ из приложения В для исполнителя ( $T_{\text{РД}}$ ) при условии, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов:

$$t_{\text{ОБ}} = T_{\text{РД}} \cdot K_t, \quad (3.10)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{\text{РД}}$ , определяется самостоятельно.

В ряде случаев возможно определение  $t_{\text{ОБ}}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования [10].

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{\text{ОБ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot K_C, \quad (3.11)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности.

Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Расчёт затрат на электроэнергию для технологических целей приведен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{ОБ}}$ , час	Потребляемая мощность $P_{\text{ОБ}}$ , кВт	Затраты $C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$ , руб.
Персональный компьютер	192	0,3	331,1
Струйный принтер	2	0,1	1,15
Итого:			332,25



Из таблицы 3.6 видно, что по результатам расчетов затраты на электроэнергию составили 332,25 рублей.

### 3.4.5 Расчёт амортизационных расходов

Данная статья подразумевает расчёт амортизации используемого оборудования за время выполнения проекта по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot t_{OB} \cdot C_{OB} \cdot n}{F_D}, \quad (3.12)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{OB}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году;

$t_{OB}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Для персональной электронно-вычислительной машины в 2020 г., при 298 рабочих днях и 8-ми часовом рабочем дне,  $F_D$  равен:

$$F_D = 298 \cdot 8 = 2384 \text{ ч.}$$

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются [10].

$H_A$  определяется как величина обратная СА, в данном случае это:

$$H_A = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

Зная значения всех коэффициентов, можно рассчитать:

$$C_{AM} = \frac{0,4 \cdot 208 \cdot 100000 \cdot 1}{2384} = 3489,93 \text{ руб.}$$

Таким образом, сумма амортизационных расходов составила 3489,93 рублей.

### 3.4.6 Расчёт прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражаются расходы на выполнение проекта, которые не могут быть учтены в предыдущих статьях или же которые не могут быть предвидены [10]. Их следует принимать равными 10% от суммы всех предыдущих расходов:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (C_{\text{МАТ}} + C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + C_{\text{ЭЛ.ОБ}} + C_{\text{АМ}}) \cdot 0,1. \quad (3.13)$$

Прочие расходы в нашем случае:

$$C_{\text{ПРОЧ}} = (1365 + 73770,30 + 22278,63 + 332,25 + 3489,93) \cdot 0,1 = 10123,61 \text{ руб.}$$

Таким образом, сумма прочих расходов составила 10123,61 рубля.

### 3.4.7 Расчёт суммарной себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Обоснование возможности модернизации ВТС реактора ИРТ-Т» (таблица 3.7) [10].

Таблица 3.7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма	
		, руб.	, %
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	1365,00	1,23
Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	73770,30	66,25
Страховые взносы	$C_{\text{СОЦ}}$	22278,63	20,01
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	332,25	0,30
Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	3489,93	3,13
Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	10123,61	9,09
Итого:		111359,72	100,00

Таким образом, затраты на разработку составили 111359,72 рублей. Проведение анализа вклада каждой из статей в суммарные затраты на работу выявило, что основной вклад вносят отчисления на заработную плату участников проекта, когда как расходы на материалы и обеспечение электроэнергией практически не повлияли на финальную величину.

### 3.4.8 Расчёт прибыли

Ввиду отсутствия данных, прибыль  $G$  рассчитана как 20% от полной себестоимости проекта:

$$G = C \cdot 0,2, \quad (3.14)$$

$$G = 111359,72 \cdot 0,2 = 22271,94 \text{ руб.}$$

Таким образом, прибыль от реализации расчета составит 22271,94 рубль.

### 3.4.9 Расчёт НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли [10,13]:

$$\text{НДС} = (C + G) \cdot 0,2, \quad (3.15)$$

$$\text{НДС} = (111359,72 + 22271,94) \cdot 0,2 = 26726,33 \text{ руб.}$$

В результате расчета сумма НДС составила 26726,33 рублей.

### 3.4.10 Цена разработки проекта

Цена разработки проекта равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС:

$$C_{\text{НИР}} = C + G + \text{НДС}, \quad (3.16)$$

$$C_{\text{НИР}} = 111359,72 + 22271,94 + 26726,33 = 160357,99 \text{ руб.}$$

Таким образом, по результатам проведенных вычислений, цена разработки проекта составила 160357,99 рублей.

### 3.4.11 Оценка экономической эффективности проекта

Ввиду закрытости данных по реактору ИРТ-Т оценка экономической эффективности и определение срока окупаемости данного проекта невозможно.

## Глава 4. Социальная ответственность

С развитием научно-технического прогресса компьютеры находят все большее применение на производстве, в научно исследовательских работах и в образовании. Однако такое повсеместное применение вычислительной техники влечет за собой ряд различных заболеваний человека.

Так, для предупреждения вредного воздействия и сохранения здоровья сотрудника, работающего за компьютером, предусмотрен ряд мер по обеспечению безопасности трудовой деятельности.

В данной выпускной квалификационной работе производится расчёт и обоснование возможности модернизации ВТС реактора ИРТ-Т. Основу вычислений составляет программный расчёт нейтронно-физических параметров установки.

Так как исследование реализовано с помощью ЭВМ, то целью данного раздела является анализ соблюдения санитарных норм и правил в процессе работы над проектом с применением компьютера. Рассматриваются меры по защите сотрудника от негативного воздействия среды. Исследуются вредные и опасные факторы, негативно влияющие на здоровье человека при работе с соответствующими элементами. Изучаются способы снижения воздействия вредных факторов до допустимых пределов. А также, рассматриваются возможные чрезвычайные ситуации и действия, которые студент должен выполнить в случае возникновения ЧС.

Объектом исследования является активная зона реактора ИРТ-Т. Так как исследование производится посредством различных пакетов компьютерных программ, то объектом исследования в данном разделе также является рабочая зона студента, включая письменный стол, персональный компьютер, клавиатуру, компьютерную мышь и стул, а также помещение, в котором эта рабочая зона находится.

## **4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **4.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства**

Рабочее место – это часть рабочей зоны, где постоянно или временно пребывает работник в процессе трудовой деятельности. Оно должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ, учитывая её физическую тяжесть и технологические особенности, а также включать в себя пространство, необходимое для передвижения в ней работающего.

Правовое регулирование для взаимодействия с активной зоной реактора, а также проектируемой рабочей зоны обеспечивается представленными ниже документами:

1. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [14];

2. НП-044-18. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под избыточным давлением, для объектов использования атомной энергии [15];

3. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009;

4. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [17];

5. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования [18];

6. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования [19];

7. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения [20];

8. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

Таким образом, данный раздел направлен на регулирование корректной работы аз реактора, на регулирование нахождения человека на ядерно- и радиационно-опасном объекте, а также на правильную организацию места взаимодействия с ПЭВМ, расположение участников рабочего процесса согласно соответствующим нормам, а также регулирования времени работы с ПЭВМ, как части процесса исследования.

#### 4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 [21] (общие требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ) при работе инженера за столом, конструкция стола и стула должна обеспечивать оптимальное положение тела работающего. Параметры рабочего места при работе с ПЭВМ приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Параметры рабочего места при работе

Параметры	Значение параметра	Реальные значения
Высота рабочей поверхности стола	От 600 до 800, мм	770 мм
Высота клавиатуры	600-700, мм	630 мм
Удаленность клавиатуры	Не менее 80, мм	85 мм
Удаленность экрана монитора	500-700, мм	650 мм
Высота сидения	400-500, мм	470 мм
Угол наклона монитора	0-30, град.	10 мм
Наклон подставки ног	0-20, град.	0 мм

Параметры рабочего стола удовлетворяют нормативным требованиям.

Нормативные параметры для мониторов при работе с ПЭВМ указаны в таблице 4.2.

Учитывая характер работ, следует выбирать неяркие, малоконтрастные оттенки отображаемой информации, которые не рассеивали бы внимание в рабочей зоне. Так как работа требует спокойствия и сосредоточенности.

Таблица 4.2 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

Параметры	Допустимые значения
Яркость белого поля	Не менее 35 кд/м <sup>2</sup>
Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться

Продолжительность непрерывной работы с компьютером без регламентированного перерыва не должна превышать 2-х часов [21]. Это связано с тем, что при работе с компьютером существуют опасные и вредные производственные факторы, а также наступает общее утомление, что негативно сказывается на здоровье организма человека.

## **4.2 Профессиональная социальная безопасность**

### **4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов**

Вредные производственные факторы по воздействию на организм человека подразделяют:

– на факторы, приводящие к хроническим заболеваниям, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания, за счет длительного относительно низкоинтенсивного воздействия;

– факторы, приводящие к острым заболеваниям (отравлениям, поражениям) или травмам за счет кратковременного (одиночного и/или практически мгновенного) относительно высокоинтенсивного воздействия.

Опасные производственные факторы по воздействию на организм человека подразделяют:

– на факторы, приводящие к смертельным травмам (летальному исходу, смерти);

– факторы, приводящие к не смертельным травмам.

Так как объектом исследования является активная зона ядерного реактора ИРТ-Т, то основными вредными и опасными производственными факторами будут таковые, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений [22].

Процесс исследования связан с непосредственным взаимодействием с ПЭВМ, поэтому к вредным и опасным факторам стоит отнести изменения показателей микроклимата, освещённости рабочего места, воздействия электромагнитных полей, вибрацию и различные шумы, а также вероятность воздействия электрического тока и психофизиологические факторы.

Основные опасные факторы, которые могут возникнуть при работе, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Основные элементы производственного процесса, формирующие вредные и опасные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Вредные и опасные факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 – ССБТ)	Нормативные документы
Инженер группы А	Повышенный уровень ионизирующих излучений	СанПиН 2.6.1.2523-09
Оператор ПК	Отклонение показателей микроклимата	ГОСТ 12.1.005–88
	Недостаточная освещённость	СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03
	Повышенный уровень общей или локальной вибрации	СН 2.2.4/2.1.8.566-96
	Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014, СН 2.2.4/2.1.8.562-96



Продолжение таблицы 4.3

Оператор ПК	Психофизиологические факторы	РД 153-34.0-03.503-00
	Воздействие электромагнитных полей	СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03
	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82, ГОСТ Р 12.1.019-2009

Тяжесть выполняемых работ, сопровождающихся незначительными физическими напряжениями, относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт) [23]. Неправильный микроклимат на рабочем месте может повлечь к сбою нормального механизма терморегуляции, что приведёт к понижению общего комфорта и, соответственно, понижению производительности.

Для данной категории работ допустимые нормы микроклимата помещения представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°			Относительная влажность, %			Скорость движения воздуха, м/сек		
		Фактическое значение	Допустимое значение	Оптимально е значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Оптимально е значение	Фактическое значение	Допустимое значение	Оптимально е значение
Холодный	Ia	21-23	20-25	22-24	55	15-75	60-40	0,1	0,1	0,1
Теплый	Ia	22-24	21-28	23-25	55	15-75	60-40	0,1	0,1-0,2	0,1

Исследуя параметры микроклимата на рабочем месте, которые поддерживаются на оптимальном уровне системой водяного центрального

отопления и естественной вентиляцией, и сравнивая их с допустимыми нормами, представленными в таблице 4.4, можно сделать вывод, что пределы допустимых значения не нарушаются.

В рабочем помещении используется комбинированное освещение – искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛД. Поскольку работа студента относится к работе высокой точности, необходимо, чтобы параметры освещенности рабочего места соответствовали требованиям СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [24].

Так как работа исполнителя предполагает длительные монотонные операции с высоким уровнем зрительной работы, то есть различение объектов высокой точности, размером от 0,3 до 0,5 мм, то необходимо принять за норму освещенности рабочего места не менее 300 лк и не более 500 лк [29]. Для инженера на исследовательском реакторе в комнатах контрольных помещений освещение рабочего места должно быть равно 500 лк [30]. Коэффициент пульсации в обоих случаях не должен превышать 15%.

Основной источник создаваемого шума – это все электрические машины, находящиеся в данном помещении. Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ [25] при выполнении работ на ПК во всех учебных помещениях уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА.

Таким образом, условия труда на рабочем месте соответствуют допустимым нормам уровня шума, поэтому нет необходимости использовать средства защиты.

Производственные процессы и элементы, которые могут оказывать не только физическое, но и нервно-психическое воздействие, относятся к психофизиологическим факторам. Однако в связи с тем, что эти факторы обусловлены условиями труда и его организацией, их можно называть трудовыми. Существует классификация условий труда, состоящая из шести категорий, по степеням тяжести и напряжённости на основе физиологических и психофизиологических показателей, динамики работоспособности и утомления, отражающих в той или иной мере реакцию организма на рабочую

нагрузку и условия труда. Напряжения при работе могут быть вызваны эстетическим, физиологическим и эмоциональным дискомфортом. Также нервно-психическое воздействие может оказывать высокая степень монотонности работы. Согласно ст.14 ФЗ от 28.12.2013 N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [31] условия труда при процессе исследования относятся к первому классу (оптимальные), однако для работника на исследовательском реакторе группы А условия труда можно отнести к допустимым (2 класс) или в случаях непосредственного взаимодействия с радиоактивными материалами вредным (3 класс).

В настоящей работе воздействие ЭМП (чаще всего имеется в виду биологическое воздействие) возможно только в случае процесса исследования – в результате работы с ПЭВМ. Наиболее чувствительны к ЭМП сердечно-сосудистая (боли в области сердца, гипотония), нервная (появление вегетативных дисфункций, большая раздражительность, повышенная утомляемость и нарушение высшей нервной деятельности), иммунная (нарушение иммуногенеза), эндокринная (увеличивается выработка адреналина, снижается активность гипофиза) и половая системы. Биологический эффект ЭМП в условиях многолетнего воздействия может накапливаться, вследствие чего возможно развитие отдаленных последствий дегенеративных процессов в центральной нервной системе, новообразований, гормональных заболеваний. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВМ, представлены в таблице 4.5 [19]. Нужно отметить, что представленные характеристики на несколько порядков ниже допустимых уровней ЭМП на рабочем месте, согласно СанПиН 2.1.8/2.2.4.2489-09 [32].

Таблица 4.5 – Временные допустимые уровни ЭМП

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряжённость электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м

Продолжение таблицы 4.5

Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Любое взаимодействие с электрическим током на производстве чаще всего подразумевает взаимодействие с высокими величинами силы тока и его напряжения. Согласно ГОСТ 12.1.038-82 [27] время взаимодействия с током с напряжением порядка 550-650 В должно быть не более 0,01-0,08 с, а токов с напряжениями 60 В (50 Гц), 100 В (400 Гц) и 200 В (постоянный) не более 1 с. При нормальном режиме работы любой электроустановки установлены максимальные значения напряжений и токов, которые могут протекать через тело человека (не более 10 мин в сутки). Данные величины представлены в таблице 4.6 [27].

Таблица 4.6 – Максимальные значения токов и напряжений, протекающих через тело человека, в нормальном режиме электроустановки

Род тока	$U$ , В	$I$ , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Взаимодействие с электрическим током более установленного нормами времени может нанести серьезный вред организму. Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него сложное влияние, являющееся совокупностью термического (ожоги), электролитического (нарушение физико-химического состава тканей), биологического (нарушение биологических процессов) и механического (разрывы различных тканей) воздействий.

Помещение, в котором проводилось исследование, принадлежит к категории помещений без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током.

Количество допустимой дозы радиации, получаемой персоналом при работе с источниками ионизирующего излучения, регулируется НРБ-99/2009, представленных в СанПиН 2.6.1.2523-09 [16].

При неосторожных действиях в условиях радиоактивного излучения в организме человека могут произойти необратимые злокачественные изменения, которые впоследствии могут привести к неблагоприятным исходам, характерным для опасных факторов.

В результате воздействия ионизирующих излучений нарушается нормальное течение биологических процессов и обмен веществ в организме. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми и необратимыми. При небольших дозах пораженная ткань восстанавливает свою функциональную деятельность. Большие дозы при длительном воздействии могут вызвать необратимое поражение отдельных органов или всего организма (лучевая болезнь).

Для персонала группы А, допустимые пределы доз представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в	
– хрусталике глаза	150 мЗв
– коже	500 мЗв
– кистях и стопах	500 мЗв

#### **4.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

Каждый из вредных и опасных факторов требует особых мер по предотвращению их воздействия на исследователя сверх установленных норм.

Для поддержания нужного микроклимата необходимо обеспечение соответствующих температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. В условиях процесса исследования достаточно лишь естественной циркуляции воздуха с применением кондиционирующих устройств в летний период, так как категория работ, согласно [23], равна Ia. Для инженера на исследовательском реакторе категория работ по уровню энергозатрат равна IIa (интенсивность энергозатрат 151-200 ккал/ч), что обуславливает необходимость поддержания температуры ниже комнатной на 1-2°, а также необходимость увеличения скорости движения воздуха в помещениях. Для этих целей могут применяться специальные промышленные установки для автоматического поддержания нужного микроклимата на исследовательском реакторе.

Обеспечение нужного уровня освещённости как в помещении, оборудованном ПЭВМ, так и на исследовательском реакторе возлагается на соответствующих специалистов. При неисправности освещения или отклонении от норм необходимо произвести замену источников света на новые или предоставить дополнительные (например, настольные лампы, точечные светильники и т.п.), в зависимости от требуемых условий работы. При повышенном коэффициенте пульсации можно выполнить следующее:

- подключение обычных светильников на разные фазы трехфазной сети (два или три осветительных прибора);

- питание двух ламп в светильнике со сдвигом (одна – отстающим током, другая опережающим), для чего в светильник устанавливают компенсирующие ПРА;

– использование светильников, где лампы работают от переменного тока частотой 400 Гц и выше.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [33], по источнику возникновения общую вибрацию в помещении, в котором проводился процесс исследования можно отнести к категории 3 типу «в», а также к вибрации в жилых помещениях и общественных зданиях от внутренних источников. К методам защиты от возможной вибрации для работы в помещении, оборудованном ПЭВМ относят:

- применение специальных виброгасителей;
- замену вибрирующих элементов на более современные аналоги с пониженными значениями виброскорости и виброускорения;
- изоляцию элементов, замена которых не представляется возможной.

Для обеспечения допустимого уровня шума применяются соответствующие меры безопасности.

Средства и методы коллективной защиты:

- создание шумозащитной зоны, рациональное размещение рабочего места;
- применение малошумных технологических процессов и машин, создание рационального рабочего распорядка дня.

В качестве средств индивидуальной защиты применяются защитные средства для органов слуха: наушники.

Психофизиологические или трудовые факторы могут оказывать значительное воздействие на исследователя при длительном воздействии: увеличить утомляемость и напряжение. Понизить уровень дискомфорта, приводящего к понижению производительности, можно грамотным подбором мебели, организацией рабочего пространства и планированием рабочего процесса. Понижение стрессов, связанных с общением, пребыванием в коллективе, с ритмом и темпом работы возможно только с учётом конкретики того или иного случая. Для снижения стрессов в процессе исследования строился график, в соответствии с которым производились встречи с научным руководителем, выполнены необходимые работы. У инженера на

исследовательском реакторе (работника на объекте исследования) так же имеется заранее определённый рабочий график, который построен в соответствии с его обязанностями. При выявлении лицом, установленным согласно РД 153-34.0-03.503-00 [26], при проведении психофизиологических обследований персонала отклонения от норм, установленных тем или иным методом определения психофизиологического состояния, необходимо скорректировать рабочее пространство в соответствии с требуемыми показателями.

Воздействие ЭМП на исполнителя, как уже сказано, совершенно незначительное, так как он взаимодействует только с безопасными, с этой точки зрения, приборами – персональными компьютерами, которые оптимизированы для работы непосредственно в жилом помещении. Исходя из паспортных данных компьютера, они соответствуют нормам ТСО-99, ТСО-03, в связи с чем особых средств защиты от ЭМП не требуется. Тем не менее, существуют рекомендации для обеспечения полной защиты от воздействия ЭМП:

- экран монитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя (расстояния от источника);

- в случаях использования устаревших мониторов необходимо применение специальных приэкранных фильтров.

К электрооборудованию, используемому в процессе исследования, предъявляются требования, представленные в таблице 4.8 [28].

Таблица 4.8 – Обеспечение защиты от поражения электрическим током при случайном прикосновении в двух случаях

1. Прикосновение к токоведущим частям	2. Прикосновение к металлическим нетокведущим частям, оказавшиеся под напряжением в результате повреждения изоляции
наличие защитных оболочек	защитное заземление и/или зануление
безопасное расположение токоведущих частей	наличие системы защитных проводов



#### Продолжение таблицы 4.8

изоляция токоведущих частей	наличие системы защитного отключения
изоляция рабочего места	изоляция нетоковедущих частей
использование малого напряжения	малое напряжение
защитное отключение	выравнивание потенциала
наличие предупредительной сигнализации, блокировки и знаков безопасности	контроль изоляции

Ионизирующее излучение наиболее опасно в случаях непосредственного взаимодействия с источниками, а также с самими радиоактивными веществами. Для защиты от данного фактора возможно применение следующих мероприятий:

- сокращение продолжительности работы в зоне излучения;
- полная автоматизация технологического процесса;
- дистанционное управление;
- экранирование источника излучения;
- увеличение расстояния;
- использование манипуляторов и роботов;
- использование средств индивидуальной защиты и предупреждение знаком радиационной опасности;
- постоянный контроль за уровнем ионизирующего излучения и за дозами облучения персонала.

### **4.3 Экологическая безопасность**

#### **4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Воздействие ядерной установки на окружающую среду начинается с момента возведения, продолжается при и после вывода из эксплуатации. На территории расположения ядерной установки и за ее пределами следует предусматривать возникновение таких негативных влияний, как:

– изъятие земельного участка под строительство и обустройство санитарных зон;

– изменение рельефа местности;

– уничтожение растительности из-за строительства;

– загрязнение атмосферы при необходимости взрывных работ;

– переселение местных жителей на другие территории;

– вред популяциям местных животных;

– тепловое загрязнение, влияющее на микроклимат территории;

– изменение условий пользования землей и природными ресурсами на определенной территории;

– химическое воздействие ядерной установки – выбросы в водные бассейны, атмосферу и на поверхности почв;

– загрязнение радионуклидами, которое может вызвать необратимые изменения в организмах людей и животных. Радиоактивные вещества могут попадать в организм с воздухом, водой и пищей. Против этого и других факторов существуют специальные превентивные меры;

– ионизирующее излучение при выводе станции из эксплуатации с нарушением правил демонтажа и дезактивации.

Один из самых значительных загрязняющих факторов – тепловое воздействие ядерной установки, возникающее при функционировании градирен, охлаждающих систем и брызгательных бассейнов. Они влияют на микроклимат, состояние вод, жизнь флоры и фауны в радиусе нескольких километров от объекта.

Воздействие ядерной установки сказывается на экологическом состоянии и гидрохимическом составе воды прилегающих водоемов. После испарения воды из охлаждающих систем в последних остаются соли. Для сохранения стабильного солевого баланса часть жесткой воды приходится сбрасывать, заменяя ее свежей.

В нормальных условиях эксплуатации радиационное заражение и влияние ионизирующего излучения сведены к минимуму и не превышают допустимый природный фон. Катастрофическое воздействие ядерной установки на окружающую среду и людей может возникнуть при авариях и утечках.

#### **4.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Очевидно, что при эксплуатации ПЭВМ не возникает сколько-нибудь заметного воздействия на окружающую среду. Действие опасных и вредных факторов ограничивается пределами помещений, в которых установлена вычислительная техника.

Однако производство вычислительной техники является достаточно "грязным" с экологической точки зрения. Загрязнению подвергается как атмосфера (при проведении паяльных работ), так и водные бассейны, в которые сбрасываются сточные воды, использованные в ходе технологического процесса изготовления печатных плат.

Для промывки печатных плат и других промышленных целей широко используется вода. После применения в ней присутствуют различные химические примеси (гидроокись меди, соединения цинка, никеля, хрома, хлорид железа и др.), масла, пыль, прочие отходы техпроцесса.

Операции травления металла и нанесения гальванических покрытий, пайки сопровождаются выделением большого количества токсичных и раздражающих веществ (аммиак и его соли, формальдегид, ацетон, фтористый водород, азотная и соляная кислоты, натр едкий, свинец и его соли, окись цинка и др), которые через вытяжную вентиляцию попадают в атмосферу.

В технологическом процессе изготовления комплектующих компьютерной техники большой вклад в загрязнение окружающей среды вносят выбросы от сжигания топлива в топках. Топливо при сгорании образует поток теплого воздуха, который уносит с собой углекислый газ, азот и т.п., а также твердые частицы.

### 4.3.3 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Для защиты окружающей среды при производстве ПЭВМ существует большое количество способов очистки сточных вод и различные виды их классификации.

Очистка сточных вод от твердых частиц осуществляется методами процеживания, отстаивания, отделения твердых частиц в поле действия центробежных сил и фильтрования.

Очистка сточных вод от маслопродуктов осуществляется отстаиванием, обработкой в гидроциклонах, флотацией и фильтрованием.

Очистка сточных вод от примесей производится экстракцией, нейтрализацией, ионным обменом, озонированием и т.д.

Нейтрализация сточных вод предназначена для выделения из сточных вод кислот, щелочей, а также солей металлов на основе указанных кислот и щелочей.

Нейтрализацию осуществляют смешением кислых и щелочных производственных сточных вод и добавлением щелочных (кислых) реагентов в кислые (щелочные) сточные воды.

Для нейтрализации серной кислоты и ионов железа в сточных водах, загрязняемых при производстве ЭВМ, применяется товарная известь.

При производстве вычислительной техники существует вероятность загрязнения атмосферы, поэтому необходима очистка выбросов воздуха, чтобы концентрация вредных примесей в воздушной среде не превышала допустимых санитарных норм. Для снижения концентрации этих веществ в воздухе широко используются различные типы пылеуловителей, фильтры, туманоуловители.

При утилизации вычислительной техники важно соблюдать определенные этапы переработки для исключения возможности загрязнения окружающей среды.

Первый этап – удаление всех опасных компонентов.

Второй этап – удаление всех крупных пластиковых частей. В большинстве случаев эта операция также осуществляется вручную. Оставшиеся после разборки части отправляют в большой измельчитель, и все дальнейшие операции автоматизированы.

Третий этап – измельченные в гранулы остатки компьютеров подвергаются сортировке. Сначала с помощью магнитов извлекаются все железные части. Затем приступают к выделению цветных металлов, которых в ПК значительно больше.

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

##### **4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Для анализа и оценки вероятных аварий и ЧС была разработана Международная шкала ядерных событий Международным агентством по атомной энергии (таблица Д.1) [34]. Шкала условно разделена на две большие части. Нижние три класса (1 – 3) относятся к происшествиям (инцидентам), а верхние классы (4 – 7) – к авариям. События на ядерной установке рассматриваются по трем критериям:

1. События, которые сопровождаются выбросами радиоактивных продуктов (РП) в окружающую среду. Наиболее высокий класс соответствует большей ядерной аварии с обширным последствием для населения и окружающей среды.

2. Внутренние последствия событий. Этот показатель изменяется от третьего класса, когда может наблюдаться значительное загрязнение поверхности и облучение персонала, до ниже уровня шкалы или нулевого уровня.

3. Происшествия, сопровождающиеся ухудшением глубоко эшелонированной защиты ядерной установки.

На стадии проектирования ядерной установки рассматривается набор проектных аварий и мероприятий по локализации и ликвидации их последствий, в том числе и максимальная проектная авария (гипотетическая), в результате которой оплавляются аварийные ТВЭЛы и радиоактивное заражение выше допустимых величин имеет место за пределами территории ядерной установки.

#### **4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований**

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследования – это пожар.

Большое значение имеет оценка пожарной опасности помещений и определение потенциально опасных факторов. Устранение возможных источников возникновения пожара является одним из главных условий обеспечения пожаробезопасности.

Основные причины возникновения пожара:

1. Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

2. Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.

3. Обогрев помещения с помощью оборудования с открытыми нагревательными элементами. В помещениях с большим количеством справочной литературы и бумажных документов, которые являются легковоспламеняющимися предметами, использование таких обогревательных приборов небезопасно. Их исключение либо замена аналогами ликвидирует данную причину пожара.

4. Короткое замыкание. Необходимо скрыть электропроводку для уменьшения вероятности короткого замыкания.

#### **4.4.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Согласно нормам пожарной безопасности НПБ 105-03 [35] помещения с ПЭВМ относятся к категории В (пожароопасные) и должны располагаться в зданиях I или II степени огнестойкости.

Наиболее вероятные классы пожаров в помещениях с компьютерной техникой – «А» (горение твердых веществ с сопровождающимся тлением) и «Е» (возгорание электроустановок).

Системный блок необходимо располагать на расстоянии от отопительных и нагревательных приборов, чтобы обеспечить наилучший теплообмен с окружающей средой. Блок питания должен иметь качественную защиту от перегрева, перегрузок и коротких замыканий в нагрузке, а также от подключения к сети с неверным напряжением.

В самом помещении электропроводка должна быть внутренней, внешнюю необходимо укладывать в трубы и крепить к стене.

Огнетушители выбирают согласно Постановлению Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 «О противопожарном режиме» [36] в зависимости от площади помещения и класса пожара. При наличии нескольких помещений одного класса (с небольшой площадью каждого из них) количество средств тушения выбирают с учетом площади этих помещений.

В общественных зданиях и помещениях, где установлены ПЭВМ, расстояние до места огнетушителя не должно превышать 20 м, для помещений вычислительных центров – 30 м. Дополнительно, к огнетушителям на каждые 200 м<sup>2</sup> площади рекомендуется иметь: грубошерстную ткань или войлок размером не менее 1×1 м, асбестовое полотно и пожарный стенд с емкостью песка не менее 0,1 м<sup>3</sup>. Асбестовое полотно и войлок следует хранить в металлических футлярах с крышками и не реже одного раза в три месяца просушивать и очищать от пыли. В помещении следует размещать фотолюминесцентные эвакуационные знаки по ГОСТ 12.4.026-2015 [37] у

дверных проемов, выключателей, рубильников, по путям эвакуации, шкафов с первичными средствами пожаротушения и т.п. Эти знаки светятся от получаса до нескольких часов, что достаточно для эвакуации персонала из опасной зоны. По окончании работы все приборы должны быть обесточены.

В случае возникновения пожара, действия работников организации и привлекаемых к тушению пожара лиц в первую очередь должны быть направлены на обеспечение безопасности людей, их эвакуацию и спасение.

Каждый работник организации, обнаруживший пожар и его признаки (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

1. Немедленно сообщить о пожаре в пожарную охрану по городскому телефону «01» или по сотовому телефону «112» (при этом необходимо четко назвать адрес организации, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность и фамилию).

2. Известить о пожаре руководителя организации или заменяющего его работника.

3. Задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации из здания в безопасное место согласно плану эвакуации.

4. При необходимости отключить электроэнергию, приостановить работу отдельных агрегатов и участков, способствующих развитию пожара и задымлению помещений здания.

5. Оценить обстановку и приступить к тушению очага возгорания имеющимися средствами пожаротушения (огнетушителями), для ликвидации его на ранней стадии.

6. Организовать встречу пожарных подразделений (выделить для встречи пожарных подразделений лицо, хорошо знающее расположение подъездных путей и водоисточников).



## Заключение

Исходя из результатов расчетов, проведенных в целях создания нового облучательного объема, можно сделать следующие выводы:

– замена ВТС в реакторе ИРТ-Т возможна. Наименьшее влияние на параметры реактора по сравнению с бериллиевой ВТС оказывает сборка из графита;

– использование фильтрующих материалов позволяет достичь увеличения плотности потока тепловых нейтронов в 3,3 раза, эпитепловых – в 5,8 раз, быстрых – в 14 раз;

– конвертер нейтронов из 4 ТВС может быть внедрен в конструкцию ВТС. Плотность потока эпитепловых нейтронов может быть увеличена в 11,4 раза, быстрых – в 23,6 раз;

– при совместном использовании конвертера нейтронов из 4 ТВС и фильтров может быть достигнуто увеличение плотности потока эпитепловых нейтронов в 1,4 раза, быстрых – в 3,7 раз;

– конструкция из графитовой ВТС с конвертером нейтронов из 4 ТВС и двумя кремниевыми фильтрами до и после него обеспечивает наибольшую плотность потока нейтронов в регистрационной зоне:  $\Phi_T = 6,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\Phi_9 = 11,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ,  $\Phi_6 = 12,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ .

Определение трудовых и финансовых затрат, перспективности осуществляемого исследования лежат в основе формирования комплексной и целостной работы. Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Определение сильных и слабых сторон рассматриваемого объекта (SWOT-анализ) – проекта модернизации ВТС реактора ИРТ-Т – показало, что на рынке не существует подобных аналогов, а также выявлена потребность непосредственно рынка в данной установке.

2. Результаты расчетов затрат на настоящее исследование практически не отличаются от затрат, которые осуществляются в ходе проведения стандартной работы научного руководителя и исполнителя, не связанных с

вовлечением в различные научные изыскания, за исключением расходов, связанных с проработкой проекта, а именно: часть налогов (НДС), прибыль и прочие расходы.

3. Бюджет научно-технического исследования составил 160357,99 рублей. Бюджет научно-технического исследования состоит из материальных затрат (1365,00 руб.), затрат на оплаты труда (73770,30 руб.), расходов на электроэнергию (332,25 руб.), затрат на страховые взносы (22278,63 руб.), амортизационных отчислений (3489,93 руб.) и прочих расходов (10123,61 руб.).

4. Оценка экономической эффективности не проведена по причине закрытости данных по реактору ИРТ-Т.

Проанализировав условия труда на рабочем месте, можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет необходимым ГОСТам и санитарным нормам и в случае соблюдения техники безопасности и правил пользования ПЭВМ вероятность получения каких-либо травм сводится к минимуму.

Кроме того, действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму, отклонения параметров микроклимата, уровней освещенности, шума и вибраций не превышают предельно допустимых значений, представленных в соответствующих нормативных документах.

Аварии и происшествия, связанные с объектом исследования могут вызвать загрязнения окружающей среды и повышенный уровень ионизирующего излучения. Соответствующие радиологические барьеры не позволяют допустить распространение продуктов радиоактивного распада в окружающую среду.

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть на рабочем месте при проведении исследования – это пожар. Оценка пожарной опасности помещений и определение потенциально опасных факторов является важным процессом. Устранение возможных источников возникновения пожара, оборудование помещений соответствующими средствами пожаротушения и соблюдение порядка действий при пожаре являются одними из главных условий обеспечения пожаробезопасности.

## Список используемых источников

1. Chadwick J. The existence of a neutron //Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. – The Royal Society, 1932. – Т. 136. – №. 830. – С. 692-708.
2. Taylor H. J., Goldhaber M. Detection of nuclear disintegration in a photographic emulsion //Nature. – 1935. – Т. 135. – №. 3409. – С. 341.
3. Strategically Harnessing the Full Potential of Research Reactors [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.iaea.org/newscenter/news/strategically-harnessing-the-full-potential-of-research-reactors> (дата обращения: 15.12.2019).
4. Applications of research reactors. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 2014. – Vol.115.
5. Исследовательский ядерный реактор ИРТ-Т [Электронный ресурс]. – URL: <http://portal.tpu.ru/reactor/about> (дата обращения: 17.12.2019).
6. Исследовательский реактор типовой – Томский [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ckp-rf.ru/usu/73568/> (дата обращения: 17.12.2019).
7. Знакомство с методом Монте-Карло [Электронный ресурс]. – URL: <http://datareview.info/article/znakomstvo-s-metodom-monte-karlo/> (дата обращения: 18.12.2019).
8. Monte Carlo Simulation Defenition [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.investopedia.com/terms/m/montecarlosimulation.asp> (дата обращения: 18.12.2019).
9. N.I. Alekseev, E.A. Gomin, S.V. Marin, V.A. Nasonov, D.A. Shkarovskii and M.S. Yudkevich MCU-PTR program for high-precision calculations of pool and tank type research reactors, Atomic Energy, Volume 109, Number 3, January 2011, pp. 149-158.
10. Видяев И. Г., Серикова Г. Н., Гаврикова Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие //Томск: ТПУ. – 2014.

11. SWOT Analysis [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.mindtools.com/pages/article/newTMC\\_05.htm](https://www.mindtools.com/pages/article/newTMC_05.htm) (дата обращения: 11.05.2020).

12. Расчет заработной платы с отчислениями в фонды [Электронный ресурс]. – URL: <https://1c-wiseadvice.ru/company/blog/raschet-zarabotnoy-platy-s-otchisleniyami-v-fondy/> (дата обращения: 11.05.2020).

13. Налог на добавленную стоимость (НДС) [Электронный ресурс]. – <https://www.nalog.ru/rn77/taxation/taxes/nds/mery.html> (дата обращения: 12.05.2020).

14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018). – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения 01.05.20).

15. НП-044-18. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под избыточным давлением, для объектов использования атомной энергии. – Режим доступа: <http://pravo.garant.ru/document?id=71812506&byPara=1&sub=1> (дата обращения 29.04.20).

16. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 / Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 64 с.

17. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования // Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 11 с.

18. ГОСТ 21889-76. Система «человек-машина». Кресло человека-оператора. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 15 с.

19. ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 3 с.

20. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.

21. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 30 с.

22. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

23. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ, 2008. – 49 с.

24. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий // Российская газета. – № 91. – 2003. – 28 с.

25. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание). – М.: Стандартинформ, 2019. – 24 с.

26. РД 153-34.0-03.503-00. Временное положение по психофизиологическому обследованию надежности профессиональной деятельности и сохранению здоровья персонала энергетических предприятий. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXR&n=384579#06585548543977078> (дата обращения 03.05.20).

27. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1) // Система стандартов безопасности труда: Сб. ГОСТов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 7 с.

28. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.
29. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71692340/> (дата обращения 02.05.20).
30. ГОСТ Р 55710-2013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений. – М.: Стандартинформ, 2016. – 17 с.
31. Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 N 426-ФЗ // Российская газета. – № 295. – 2013. – 27 с.
32. СанПиН 2.1.8/2.2.4.2489-09. Гипогеомагнитные поля в производственных, жилых и общественных зданиях и сооружениях // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – № 17. – 2009. – 5 с.
33. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы // Минздрав России – М.: Информационно-издательский центр, 1997. – 50 с.
34. INES: The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual. – IAEA, 2008. – Vol.206.
35. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2003. – 28 с.
36. Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 «О противопожарном режиме» // Собрание законодательства Российской Федерации. – № 19. – 2012.
37. ГОСТ 12.4.026-2015/ Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Цвета сигнальные, знаки безопасности и разметка сигнальная. Назначение и правила применения. Общие технические требования и характеристики. Методы испытаний (с Поправками, с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ, 2017. – 82 с.

## Приложение А

(Обязательное)

Таблица А.1 – Основные характеристики реактора ИРТ-Т

Наименование параметра	Значение
Мощность реактора, МВт	6
Число ТВС типа ИРТ-3М в активной зоне, шт.	
8 – трубных	12
6 – трубных	8
Поверхность теплоотдачи активной зоны, м <sup>2</sup>	29,6
Объем активной зоны, л	59,3
Запас реактивности, % Δk/k	7,2
Рабочие органы системы управления и защиты (СУЗ), шт.	
– аварийной защиты (АЗ)	2
– компенсирующие (РР)	6
– автоматического регулирования (АР)	1
Суммарная эффективность органов АЗ, % Δk/k	3,5
Суммарная эффективность органов КС и АР, % Δk/k	10,0
Коэффициент неравномерности энерговыделения	
– по горизонтальному сечению активной зоны	1,78
– по высоте активной зоны	1,26
Максимальная плотность энерговыделения, кВт/л	227
Максимальная плотность теплового потока, кВт/м <sup>2</sup>	427
Перепад давления на активной зоне, м вод.ст.	3,4
Средняя скорость теплоносителя в зазорах ТВС, м/с	2,88
Расход теплоносителя через активную зону и отражатель, т/ч	900
Температура воды на входе в активную зону, °С	45
Максимальная расчетная температура поверхности твэла, °С	77
Температура начала поверхностного кипения, °С	123
Максимальная невозмущенная плотность потока тепловых нейтронов, (E < 0,625 эВ), (н · см <sup>-2</sup> · с <sup>-1</sup> )/МВт	
– в отражателе	1,76 · 10 <sup>13</sup>
– в активной зоне	1,50 · 10 <sup>13</sup>
То же для быстрых нейтронов (E > 0,821 МэВ)	
– в отражателе	0,34 · 10 <sup>13</sup>
– в активной зоне	1,12 · 10 <sup>13</sup>

## Приложение Б

(Обязательное)

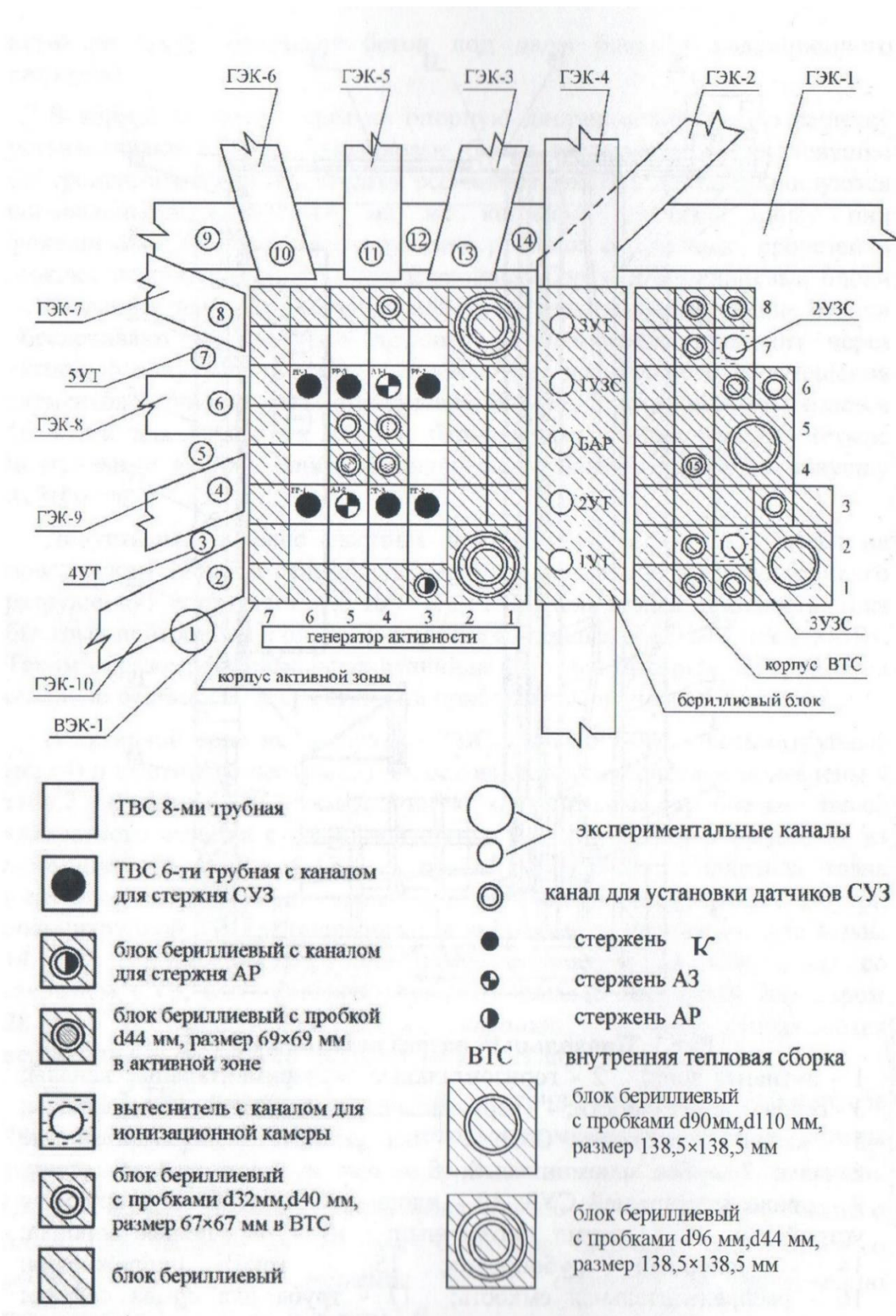


Рисунок Б.1 – Схема ИРТ-Т



## Приложение В

(обязательное)

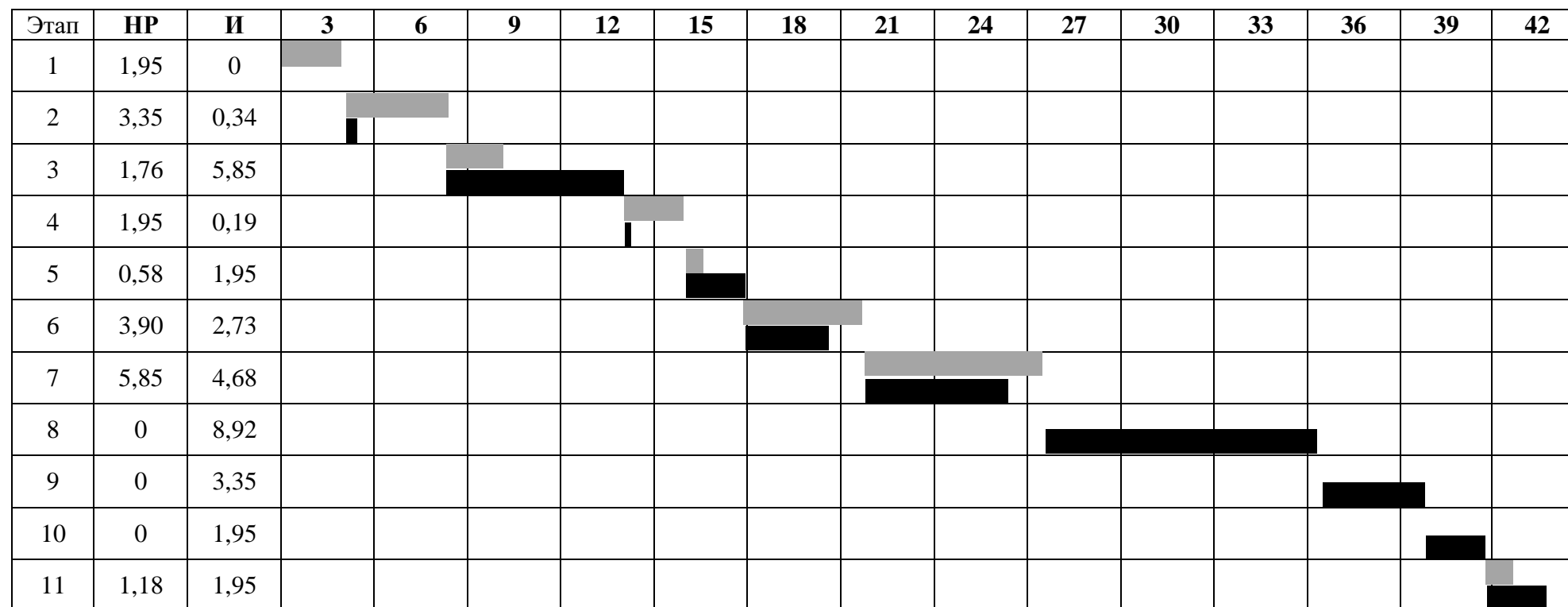
Таблица В.1 – Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.-дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	1	2	1,40	1,61	0	1,95	0
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,40	2,76	0,28	3,35	0,34
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	3	6	4,20	1,45	4,83	1,76	5,85
Разработка календарного плана	НР, И	1	2	1,40	1,61	0,16	1,95	0,19
Обсуждение литературы	НР, И	1	2	1,40	0,32	1,61	0,58	1,95
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	2	4	2,80	3,22	2,25	3,90	2,73
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	3	6	4,20	4,83	3,86	5,85	4,68
Расчет принципиальной схемы устройства	И	4	10	6,40	0	7,36	0	8,92
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	2	3	2,40	0	2,76	0	3,35
Оформление графического материала	И	1	2	1,40	0	1,61	0	1,95
Подведение итогов	НР, И	1	2	1,40	0,97	1,61	1,18	1,95
Итого:				29,40	16,93	26,33	20,52	31,91

## Приложение Г

(обязательное)

Таблица Г.1 – Диаграмма Гантта



НР – █; И – █

## Приложение Д

(Обязательное)

Таблица Д.1 – Международная шкала ядерных событий

Уровень по шкале INES	Критерии оценки безопасности		
	Люди и окружающая среда	Радиологические барьеры и контроль	Глубокоэшелонированная защита
<b>Уровень 7.</b> <i>Крупная авария</i>	Сильный выброс (радиологический эквивалент нескольких десятков тысяч ТБк I-131): тяжёлые последствия для здоровья населения и для окружающей среды, возможно, даже в соседних странах.		
<b>Уровень 6.</b> <i>Серьёзная авария</i>	Значительный выброс (радиологический эквивалент нескольких тысяч ТБк I-131): требуется полномасштабное осуществление плановых мероприятий по восстановлению (укрытие, эвакуация и прочее).		
<b>Уровень 5.</b> <i>Авария с широкими последствиями</i>	Ограниченный выброс (радиологический эквивалент нескольких сотен ТБк I-131): требуется частичное осуществление плановых мероприятий по восстановлению.	Тяжёлое повреждение активной зоны и физических барьеров. Выброс больших количеств радиоактивного материала в пределах установки, так что вероятно утечка наружу. Крупная авария с переходом на критический режим или пожаром.	

Продолжение таблицы Д.1

<p><b>Уровень 4.</b> <i>Авария с локальными последствиями</i></p>	<p>Минимальный выброс (радиологический эквивалент нескольких десятков ТБк I-131): контрмеры ограничиваются контролем продуктов. Единичные смертельные случаи<sup>1</sup>.</p>	<p>Расплавление или повреждение топливных сборок с небольшим выбросом. Выброс значительных количеств радиоактивного материала в пределах установки, так что вероятно утечка наружу.</p>	
<p><b>Уровень 3.</b> <i>Серьёзный инцидент</i></p>	<p>Пренебрежительно малый выброс: облучение населения более 10 годовых доз<sup>2</sup>. Видимые несмертельные эффекты (например, ожоги)<sup>1</sup></p>	<p>Радиоактивность &gt;1 Зв/ч в рабочей зоне. Сильное радиоактивное загрязнение в зоне, не предусмотренной проектом, с низкой вероятностью утечки наружу.</p>	<p>Аварию удалось предотвратить, но для этого пришлось задействовать все исправные системы безопасности. Также: потеря, похищение или доставка не по адресу высокоактивного источника</p>
<p><b>Уровень 2.</b> <i>Инцидент</i></p>	<p>Облучение работника свыше годовой дозы (<math>\approx 3</math> мЗв); облучение постороннего<sup>2</sup> свыше 10 мЗв</p>	<p>Радиоактивность &gt;50 мЗв/ч в рабочей зоне. Радиоактивное загрязнение распространилось на зону, не установленную проектом.</p>	<p>Инцидент с серьёзными отказами в средствах обеспечения безопасности. Найден бесхозный высокоактивный источник в надлежащей упаковке. Нарушение упаковки высокоактивного источника.</p>
<p><b>Уровень 1.</b> <i>Аномальная ситуация</i></p>			<p>Аномальная ситуация, выходящая за пределы допустимого при эксплуатации. Облучение постороннего свыше годовой дозы. Утеря, похищение и доставка не по адресу низкоактивных источников.</p>
<p><b>Уровень 0.</b> <i>Событие с отклонением ниже шкалы</i></p>	<p>Отсутствует значимость с точки зрения безопасности</p>		