

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

---

Школа – Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»

Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Разработка мишенного узла для синтеза ультракороткоживущих изотопов медицинского назначения с использованием импульсных пучков легких ионов

УДК 621.384.664:621.039.8:615.84

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Неволин Никита Романович		31.05.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Черепенников Ю. М.	К.Т.Н.		31.05.2022

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, заведующий НПЛ «ИПЭПТ»	Ремнев Г. Е.	Д.Т.Н.		31.05.2022

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		31.05.2022

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	К.Т.Н.		31.05.2022

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		31.05.2022

Томск – 2022 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
<b>Универсальные</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные</b>	
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-2	Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа
ПК(У)-3	Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
ПК(У)-4	Способен использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
ПК(У)-5	Готов к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
ПК(У)-6	Способен использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
ПК(У)-7	Способен к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-8	Готов к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
ПК(У)-9	Способен к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
ПК(У)-10	Готов к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
ПК(У)-11	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
ПК(У)-12	Готов к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий

ПК(У)-13	Способен 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
ПК(У)-14	Готов разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверх-высокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
ПК(У)-15	Способен к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Бычков П.Н.  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Д	Неволину Никите Романовичу

Тема работы:

Разработка мишенного узла для синтеза ультракороткоживущих изотопов медицинского назначения с использованием импульсных пучков легких ионов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2022, №32–52/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

**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>	Мишеный узел с выходным окном из самоподдерживающейся мембраны Al-Si-N толщиной 4,5 мкм на медной подложке, подходящий для эксплуатации на сильноточном импульсном ускорителе лёгких ионов, с энергией частиц до 10 МэВ, и не являющийся финансово затратным

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки и 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></p>	<p>Аналитический обзор литературы; постановка цели и задач исследования; изучение методов синтеза медицинских изотопов; разработка метода получения прототипа выходного окна; анализ полученных результатов; выводы по работе.</p>
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Экспериментальная часть	Ремнёв Г.Е.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Передерин Ю.В.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.02.2022
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Черепенников Ю. М.	к.т.н.		01.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Неволин Никита Романович		01.02.2022

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ РЕСУРСОСБЕ-  
РЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А8Д	Неволину Никите Романовичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<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 в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы -1,14; - накладные расходы – 16%
3. <i>Использованная система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведение НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциального потребителя результатов исследования; проведение SWOT-анализа проекта
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Планирование этапов работы, определение календарного графика и трудоемкости работы, расчет бюджета, определение рисков
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка социальной эффективности проекта, сравнительной эффективности исследования

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

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Диаграмма Ганта*

<b>Дата выдачи задания по линейному графику</b>	01.02.2022
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	к. э. н.		01.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А8Д	Неволин Никита Романович		01.02.2022

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А8Д	Неволину Никите Романовичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 «Ядерные физика и технологии»

Тема ВКР:

Разработка мишенного узла для синтеза ультракороткоживущих изотопов медицинского назначения с использованием импульсных пучков легких ионов

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования: конструкция мишенного узла с выводным окном в виде тонкой плёнки Al-Si-N для синтеза изотопов медицинского назначения и технология его производства</p> <p>Область применения: радиофармакологическая промышленность и синтезирование радиофармакологических изотопов на ускорителе лёгких ионов</p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <p>1. специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</p> <p>2. организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 24.04.2020);</p> <p>– ГОСТ 22269-76. Система «человекмашина».</p> <p>Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.</p>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>1. анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2. обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные и опасные факторы:</p> <p>1. отклонение показателей микроклимата;</p> <p>2. повышенный уровень электромагнитных излучений;</p> <p>3. недостаточная освещенность рабочей зоны;</p> <p>4. повышенный уровень шума;</p> <p>5. психофизиологические нагрузки;</p> <p>6. опасность поражения электрическим током.</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>1. анализ влияния процесса исследования на окружающую среду;</p> <p>2. организационные и технические мероприятия по защите окружающей среды.</p>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>1. выбор и описание типичной ЧС: пожар;</p> <p>2. обоснование мероприятий по предотвращению ЧС;</p> <p>3. порядок действий при возникновении ЧС.</p>

Дата выдачи задания по линейному графику	01.02.2022
--	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		01.02.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А8Д	Неволин Н.Р.		01.02.2022

## Реферат

Выпускная квалификационная работа объёмом 91 страница, 21 рисунок, 37 таблиц, 39 источников, 26 формул.

Ключевые слова: импульсный ускоритель, мишенный узел, выходное окно, тонкие мембраны, сильноточные пучки.

Объект исследования: мишенный узел для производства медицинских изотопов на сильноточном импульсном ускорителе коллективного ускорения.

Цель работы – разработка конструкции мишенного узла с внедрённой самоподдерживающейся мембраной в виде выходного окна.

В ходе работы проведён эксперимент для разработки технологии получения конструкции выходного окна. Для аргументации выбора материала произведено моделирование в программной среде SRIM/TRIM, указывающее на явную целесообразность использования данного материала при разработке успешной методики. Пучки протонов в диапазоне  $1,5 \div 3,5$  при прохождении через мембрану не имели значительных потерь энергии. Таким образом решалась основная проблема эксплуатации ускорителя «ТЕМП» в виде пучка широкого диапазона энергий.

Задачи, поставленные в ходе выполнения работы:

1. Изучение проблемы, обзор литературы.
2. Подготовка образца.
3. Испытание образца на параметры газо-/энергопроницаемости.
4. Получение результатов тестирования их интерпретация и анализ.
5. Отладка метода и применение к первичному образцу.
6. Тестирование образца на ускорителе частиц

Область применения: исследовательские лаборатории и медицинские учреждения.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	12
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	14
1.1 РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ И ФОРМЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ ФТОРА .....	14
1.1.1 Фториды.....	14
1.1.2 Физические и химические свойства .....	16
1.1.3 Применение $^{19}\text{F}$ и $^{18}\text{F}$ .....	17
1.2 ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ РЕАКЦИИ СИНТЕЗА ИЗОТОПА $^{18}\text{F}$ .....	18
1.2.1 Ядерные реакции получения $^{18}\text{F}$ и аксиомы оптимизации конструирования .....	18
1.2.2 Стоимостная оценка материалов .....	20
1.2.3 Оптимальные реакции по экономическим показателям и аксиомам конструирования .....	21
1.2.4 Анализ сечений захвата .....	22
1.3 ОБЗОР НАУЧНЫХ СТАТЕЙ ПО ПОЛУЧЕНИЮ $^{18}\text{F}$ .....	26
1.3.1 Нарботка на циклотроне, выделение и очистка $^{18}\text{F}$ и препарата на его основе.....	26
1.3.2 Исследование выхода и получения $^{18}\text{F}$ при облучении воды $^3\text{He}$ .....	27
1.3.3 Получение радионуклида $^{18}\text{F}$ по реакции $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ протонами с энергией 16,5 МэВ .....	28
2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	30
2.1 ПОДГОТОВКА ОБРАЗЦА И ОТЛАДКА ТЕХНОЛОГИИ ЕГО ПОЛУЧЕНИЯ .....	30
2.2 ИСПЫТАНИЯ ВЫВОДНОГО ОКНА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ И ТЕРМИЧЕСКУЮ НАГРУЗКУ .....	38
2.2.1 Экспериментальный стенд.....	38
2.2.2 Математическое моделирование процесса прохождения пучка протонов через выводное окно Al-Si-N .....	40
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ .....	46

3.1	ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ ВКР .....	46
3.2	АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....	47
3.3	SWOT-АНАЛИЗ .....	49
3.4	ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОЕКТА .....	52
3.4.1	Определение трудоемкости выполнения ВКР .....	53
3.4.2	Разработка графика проведения ВКР .....	54
3.5	БЮДЖЕТ ПРОЕКТА .....	57
3.5.1	Материальные затраты .....	57
3.5.2	Затраты на специальное оборудование .....	58
3.5.3	Заработная плата исполнителей ВКР .....	59
3.5.4	Отчисления во внебюджетные фонды .....	61
3.5.5	Накладные расходы .....	61
3.5.6	Формирование бюджета затрат ВКР .....	61
3.6	ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ) ЭФФЕКТИВНОСТИ ВКР 62	
3.6.1	Оценка научно-технического эффекта .....	62
3.6.2	Оценка сравнительной эффективности исследования .....	64
4	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	67
4.1	ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ...	67
4.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	67
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	68
4.2	ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....	71
4.2.1	Анализ вредных и опасных факторов .....	71
4.3	ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ ОТ ДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ И ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ .....	72
4.3.1	Отклонение показателей микроклимата .....	72
4.3.2	Повышенный уровень электромагнитного излучения .....	73

4.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	74
4.3.4 Превышение уровня шума.....	78
4.3.5 Психофизиологические факторы .....	79
4.3.6 Поражение электрическим током.....	79
4.4 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....	82
4.5 ПОЖАРНАЯ И ВЗРЫВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....	83
4.6 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	85
4.6.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования.....	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	87
ИСТОЧНИКИ ЛИТЕРАТУРЫ .....	89

## Введение

Яркое развитие промышленности в купе с увеличением численности населения и улучшением методов диагностики, привели к статистическому увеличению процента пациентов больных различными онкологическими заболеваниями. Сегодня существует перспективное направление применения радиоактивных материалов в области диагностирования и лечения установленной проблемы. Так одним из наиболее распространённых методов диагностирования является позитрон-эмиссионная диагностика (ПЭТ-диагностика), использующая излучение изотопа  $^{18}\text{F}$ , вводимого в организм и позволяющего отслеживать области его скопления.

Применение препаратов на основе изотопа  $^{18}\text{F}$  является следствием его малого периода полураспада, характера и энергий дочерних частиц распада. Однако малый период полураспада усложняет применение препаратов, вынуждая вести наработку изотопа непосредственно вблизи центров их применения. Технология производства на данный момент хорошо отработана и включает в себя облучение мишеней пучками протонов (легких ионов) ускоренных до энергий свыше 10 МэВ в циклотронах с последующей экстракцией из мишени наработанного изотопа и приготовлении радиофармпрепарата (РФП). Применение в технологической цепочке дорогостоящих и крупногабаритных ускорителей препятствует более широкому внедрению ПЭТ-диагностики в клиническую практику. Отечественные исследователи разработали проект альтернативного комплекса получения радиоизотопа  $^{18}\text{F}$  с применением новейшего ускорителя, основанного на методе коллективного ускорения, размеры и стоимость которого позволяют размещать его непосредственно в онкологических диспансерах сильно сокращая время от наработки изотопа до применения РФП, вследствие чего требуемая активность препарата и, соответственно, объёмы наработки изотопа снижаются, удешевляя производство.

Данная работа направлена на исследования в области ядерно-модифицированных материалов, материалов конструкций мишенного узла, а также конструкции мишенного узла, подвергаемого облучению на импульсном ускорителе в целях синтеза изотопа  $^{18}\text{F}$ .

# 1 Литературный обзор

## 1.1 Распространённость и формы существования фтора

В природе фтор встречается только в виде соединений стабильного изотопа  $^{19}\text{F}$ . Считается распространённым элементом, наиболее часто встречающимся в форме шпата  $\text{CaF}_2$ , фторанатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , криолита  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , а также присутствует в апатитах и фосфоритах. Фторапатит наиболее важный минерал бедный фтором (3-4%), но присутствующий в больших запасах.

Среднее содержание фтора в земной коре (кларк)  $6,25 \cdot 10^{-2}$  % по массе; в кислых изверженных породах (гранитах) оно составляет  $8 \cdot 10^{-2}$  %, в основных —  $3,7 \cdot 10^{-2}$  %, в ультраосновных —  $1 \cdot 10^{-2}$  %. Фтор присутствует в вулканических газах и термальных водах. [1]

Фторапатит как природная примесь в апатите образует фтористый водород в качестве побочного продукта при производстве фосфорной кислоты, поскольку апатит разлагается серной кислотой. Побочный продукт фтористого водорода в настоящее время является одним из промышленных источников плавиковой кислоты, которая, в свою очередь, используется в качестве исходного реагента для синтеза ряда важных промышленных и фармацевтических соединений фтора. [2]

Известно, что получение фтора в промышленности осуществляют посредством электролитического разложения трифторида калия  $\text{KF} \cdot \text{HF}$  при температуре 70–100 °С. [3]

### 1.1.1 Фториды

Выделяют простые, или бинарные, фториды (в частности, соли фтористоводородной кислоты, ковалентные фториды металлов и неметаллов, галоген-

фториды), оксифториды (например,  $\text{POF}_3$ ), гидрофториды металлов, фторсодержащие кислоты (например, фтористоводородная кислота), комплексные фториды, или фторометаллаты, например  $\text{Na}_2\text{NiF}_4$  и др. К фторидам относятся также фториды графита, фторидные и оксифторидные бронзы, смешанные галогениды.

Высокая реакционная способность фтора обуславливает экзотермичность фторирования, которая, в свою очередь, определяется аномально малой величиной энергии диссоциации молекулы фтора и большими величинами энергии связей атома фтора с другими атомами.

Прямое фторирование имеет цепной механизм и легко может перейти в горение и взрыв. Фтор реагирует со всеми элементами, кроме гелия, неона и аргона. С кислородом взаимодействует в тлеющем разряде, образуя при низких температурах фториды кислорода  $\text{O}_2\text{F}_2$ ,  $\text{O}_3\text{F}_2$  и др. Реакции фтора с др. галогенами экзотермичны, в результате образуются межгалогенные соединения.

Наиболее тугоплавки и труднолетучи трифториды редкоземельных элементов,  $\text{CaF}_2$  (т. кип.  $2530^\circ\text{C}$ ), наименьшие температуры плавления и кипения у  $\text{OF}_2$  (соотв.  $-224$  и  $-145^\circ\text{C}$ ) и  $\text{NF}_3$  ( $-206,8$  и  $-129,0^\circ\text{C}$ ). Наибольшая растворимость в воде имеет  $\text{SbF}_3$  ( $492,4$  г в  $100$  г  $\text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$ ),  $\text{BeF}_2$ ,  $\text{TlF}$ , наименьшую  $\text{PbClF}$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{LaF}_3$  и  $\text{ThF}_4$  ( $0,17$  мг/л при  $20^\circ\text{C}$ ).

Множество фторидов подвержены пирогидроллизу и гидролизу в соответствии с их склонностью, повышающейся в ряду от трифторидов до гептафторидов металлов и с уменьшением атомного номера в одной подгруппы.

Окислительные свойства наиболее сильно выражены:  $\text{KrF}_2$ ,  $\text{XeF}_6$ , галогенфториды,  $\text{OF}_2$ ,  $\text{O}_2\text{F}_2$ ,  $\text{NF}_3$ ,  $\text{N}_2\text{F}_4$ ,  $\text{NOF}_3$ , их раствор в  $\text{HF}$ . Очень сильные окислители:  $\text{OsF}_7$ ,  $\text{ReF}_7$ ,  $\text{PtF}_6$ ,  $\text{PuF}_6$ ,  $\text{AuF}_5$ ,  $\text{CrF}_5$ ,  $\text{MnF}_4$ ,  $\text{CrF}_4$ ,  $\text{AuF}_3$ ,  $\text{NiF}_3$  и др. [4]

## 1.1.2 Физические и химические свойства

Газообразный фтор имеет плотность 1,693 г/л (0°C и 0,1 МН/м<sup>2</sup>, или 1 кгс/см<sup>2</sup>), жидкий – 1,5127 г/см<sup>3</sup> (при температуре кипения);  $t_{пл} - 219,61^\circ\text{C}$ ;  $t_{кип} - 188,13^\circ\text{C}$ . Молекула фтора состоит из двух атомов (F<sub>2</sub>).

При 1000°C 50% молекул диссоциирует, энергия диссоциации  $\approx 155 \pm 4$  кДж/моль.

Фтор плохо растворим в жидком фтористом водороде –  $2,5 \cdot 10^{-3}$  г в 100 г HF при -70°C и  $0,4 \cdot 10^{-3}$  при -20°C; в жидком виде неограниченно растворим в жидком кислороде и озоне.

Конфигурация внешних электронов атома фтора  $2s^2 2p^2$ . В соединениях проявляет степень окисления — 1. Ковалентный радиус атома 0,72Å, ионный радиус 1,33Å. Сродство к электрону 3,62 эВ, энергия ионизации (F → F<sup>+</sup>) 17,418 эВ. Высокими значениями сродства к электрону и энергии ионизации объясняется сильная электроотрицательность атома фтора, наибольшая среди всех других элементов.

Таблица 1 – Ядерно-физические свойства <sup>18</sup>F [5]

T <sub>1/2</sub>	Тип распада	Средняя энергия излучения, МэВ	
		характеристическое, γ- и аннигиляционное излучение	β-излучение, конверсионные электроны и электроны Оже
109,77 мин.	3Э – 3%, β <sup>+</sup> – 97% [6]; β <sup>+</sup> – 100% [7]; β <sup>+</sup> – 96,9%; EC – 3,1% [8].	1,02	0,25

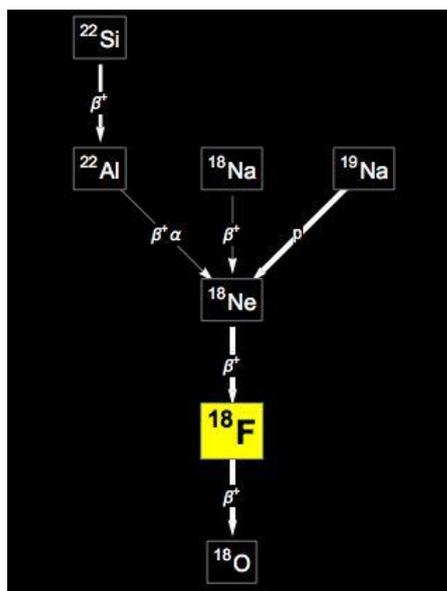


Рисунок 1 – Семейство распада  $F^{18}$

### 1.1.3 Применение $^{19}F$ и $^{18}F$

Препараты фтора нашли широкое применение в различных отраслях начиная с медицины, где используется в ПЭТ-диагностике, заканчивая сельским хозяйством, для борьбы с вредителями. Так же фтор используется в процессе фторирования обеднённой воды.

В биологических исследованиях — проводят изучение физиологии костей с помощью хелатных соединений; синтезируют фторбораты для изучения функции щитовидной железы, ароматические красители для исследования проницаемости мембран и др.

$^{18}F$  синтезируют на ускорителях вблизи места использования, облучая мишень  $^{18}O$  протонами с энергией до 18 МэВ (дальнейшее увеличение энергии не приводит к большему выходу  $^{18}F$ ). Мишенным материалом, как правило, является вода, обогащённая изотопом  $^{18}O$ . В медицинских учреждениях обычно используют циклотроны.

Меченные  $^{18}F$  РФП используются в ядерной медицине для проведения ПЭТ-исследований. РФП на основе  $^{18}F$  используются для следующих исследований:

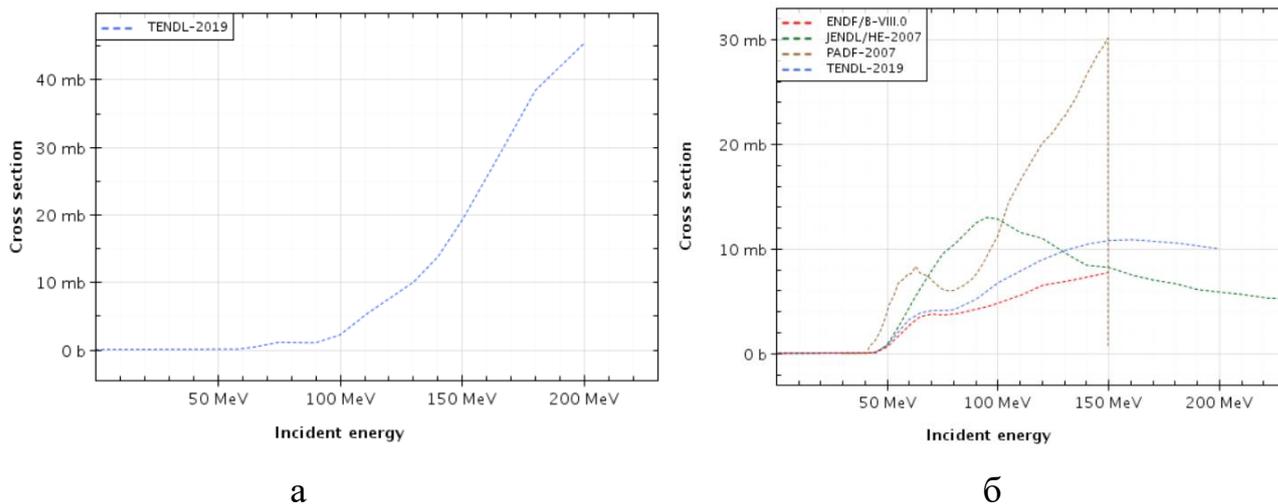


Рисунок 5 – Графики зависимости сечения захвата от энергии взаимодействия ядерной реакции: а –  $^{27}\text{Al}(\alpha, n+3\alpha)^{18}\text{F}$ ; б –  $^{27}\text{Al}(p, d+2\alpha)^{18}\text{F}$

### 1.3 Обзор научных статей по получению $^{18}\text{F}$

#### 1.3.1 Нарботка на циклотроне, выделение и очистка $^{18}\text{F}$ и препарата на его основе

$^{18}\text{F}$  образуется в результате ядерной реакции при облучении протонами воды, обогащенной по стабильному изотопу  $^{18}\text{O}$  в мишенном устройстве циклотрона. После облучения протонами обогащенная вода, содержащая наработанные анионы  $^{18}\text{F}$  ( $^{18}\text{F}^-$ ), передается в лабораторию синтеза РФП. Передача наработанного  $^{18}\text{F}$  до оборудования синтеза осуществляется выталкиванием из мишенного устройства и продавливанием чистым газообразным гелием по специальным транспортировочным капиллярам. Транспортировочные капилляры для  $^{18}\text{F}$  обычно обустривают в специальных защищенных каналах, проложенных со всех сторон свинцом, могут иметь горизонтальное и вертикальное исполнение. Защитные каналы прокладывают от бункера циклотрона до защитного оборудования лабораторий синтеза. [15]

Радионуклид  $^{18}\text{F}$  стабилизируется в обогащенной воде в форме фторид-анионов  $^{18}\text{F}^-$ , для выделения которых из обогащенной по  $^{18}\text{O}$  воды применяют

анионообменные одноразовые колонки (картриджи), химически связывающие  $^{18}\text{F}^-$ . При пропускании через картридж  $^{18}\text{F}^-$  в облученном мишенном веществе – обогащенной воде –  $^{18}\text{F}^-$  сорбируется, а обогащенная вода проходит в емкость для отходов. [15]

Синтезированная  $^{18}\text{F}$ -фтордэзоксиглюкоза ( $^{18}\text{F}$ -ФДГ) содержит большое количество примесей, для удаления которых применяют метод твердофазной экстракции, заключающийся в пропускании продукта через каскад активированных одноразовых колонок. Каскад одноразовых колонок представляет собой последовательно соединенные колонки. Элюентом в большинстве случаев является вода для инъекций. Колонки для очистки содержат оксид алюминия, обращено-фазные смолы, но некоторые технологии предусматривают применение и катионнообменных смол [16].

В работе [17], например, рассматривается применение сорбционного способа очистки на синтетических ионообменниках, посредством изучения эффективности очистки водных растворов от фтора на катионитах с различными функциональными группами Lewatit TP 260 и КУ-2×8 в форме  $\text{Al}^{3+}$ . По мнению авторов, степень очистки растворов может достигать 80-90 %.

### **1.3.2 Исследование выхода и получения $^{18}\text{F}$ при облучении воды $^3\text{He}$**

В работе [18] облучение проводилось при энергии пучка  $14\div 41$  МэВ. Вода, подлежащая облучению, хранилась в цилиндрической титановой полости с водяным охлаждением диаметром 50 мм и толщиной 2 мм. Пучок ядер гелия проникал в мишень через фольгу Та толщиной 15 мкм в передней части цилиндра. Во время бомбардировки частицами, в качестве возмущающего побочного эффекта, вода диссоциирует на  $\text{H}_2$  и  $\text{O}_2$ , что приводит к недопустимому повышению давления в полости мишени. По этой причине к мишени подсоединяется небольшой сосуд, наполненный палладием, который действует как катализатор для преобразования воды. После 3-х часов облучения активность  $^{18}\text{F}$  итогового образца составляла 20 мКю/мкА

Таблица 7 – Сечения захвата для реакции получения  $^{18}\text{F}$  по реакциям  $^{16}\text{O}(^3\text{He}, p)^{18}\text{F}$  и  $^{16}\text{O}(^3\text{He}, n)^{18}\text{Ne} \rightarrow ^{18}\text{F}$  в области энергий 14÷41 МэВ

Энергия $^3\text{He}$ (МэВ)	Сечение захвата (мбн)	Энергия $^3\text{He}$ (МэВ)	Сечение захвата (мбн)
13,9	135,9±6,5	31,6	29,0±1,2
17,1	87,7±4,0	33,6	26,8±1,1
19,9	61,2±2,9	35,6	23,9±1,1
22,4	50,8±2,3	37,2	22,7±1,1
24,7	43,3±2,0	38,8	20,8±1,1
26,9	36,9±1,6	40,3	20,5±1,2
28,9	32,5±1,4		

### 1.3.3 Получение радионуклида $^{18}\text{F}$ по реакции $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ протонами с энергией 16,5 МэВ

$^{18}\text{F}$  может быть получен в мишени циклотрона с помощью протонного облучения естественного стабильного изотопа  $^{18}\text{O}$  по ядерной реакции  $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ . Если в качестве мишени используют воду  $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$ , то получают аквагидратированный  $^{18}\text{F}$  фторид-ион; если облучают газ  $[^{18}\text{O}]\text{O}_2$ , то продуктом является газообразный  $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$ .  $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$  можно получить также при облучении Ne дейтронами по ядерной реакции  $^{20}\text{Ne}(d, \alpha)^{18}\text{F}$  (таблица 8). Выбор способа получения радионуклида зависит от его использования в последующих химических превращениях [19]. Основное различие между двумя химическими формами определяется величиной удельной активности изотопа  $^{18}\text{F}$ . Удельная активность уменьшается при добавлении газа  $[^{20}\text{F}]\text{F}_2$  в качестве носителя для извлечения  $^{18}\text{F}$  в форме  $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$  из мишени. При изучении связывания радиолигандов с нейрорецепторами удельная активность становится решающим фактором, поскольку низкая удельная активность может привести к насыщению рецепторов и уменьшению сигнала ПЭТ от специфического связывания и вызвать фармакологические, а иногда и нейротоксические эффекты [20]. Основным методом получения радиоизотопа  $^{18}\text{F}$  является ядерная реакция  $^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$ . [21]

Таблица 8 – Наиболее распространённые реакции получения  $^{18}\text{F}$  на циклотронах средних энергий [18, 21]

Ядерная реакция	$^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$		$^{20}\text{Ne}(d,\alpha)^{18}\text{F}$
	$[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$	$[^{18}\text{O}]\text{O}_2$ (50 $\mu\text{mol F}_2$ )	Ne (200 $\mu\text{mol F}_2$ )
Энергия бомбардирующих частиц, МэВ	16 $\rightarrow$ 3	16 $\rightarrow$ 3	14 $\rightarrow$ 0
Сечение ( $\sigma_{\text{max}}$ ) мбарн	700	700	115
Химическая форма фтора-18	$^{18}\text{F}(\text{aq})$	$[^{18}\text{F}]\text{F}_2$	$[^{18}\text{F}]\text{F}_2$
Макс. активность, ГБк	До 1000	До 50	До 11
Макс. удельная активность [ГБк/мкмоль]	До $10^4$	1	0.1
Добавление носителя	Нет	Да	Да
Метод	нуклеофильное замещение	Электрофильное присоединение	

Таблица 9 – Условия получения радионуклида  $^{18}\text{F}$

Материал мишени	Nb	Ag
Объем мишени	2.3 мл	1.5 мл
Ток пучка	$\leq 40$ мкА	$\leq 30$ мкА
Охлаждение	Гелий, вода	Гелий, вода
Время облучения	15-30 мин	
Процент обогащения $[^{18}\text{O}]\text{H}_2\text{O}$	50-97 %	
Полученная активность	3.7 – 37 ГБк (100-1000 мКи)	

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

Данная ВКР направлена на разработку конструкции мишенного узла для синтеза изотопа медицинского назначения  $^{18}\text{F}$ .

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования [24].

#### **3.1 Потенциальные потребители ВКР**

Результатом выпускной квалификационной работы является разработанный мишенный узел для синтеза медицинских изотопов на коллективном импульсном ускорителе, перспективном для мобилизации производственных ресурсов создания РФП.

Целевым рынком данной работы являются: фармакологическая промышленность, научно-исследовательские лаборатории, центры ядерной медицины,

онкологические диспансеры, промышленность производства ядерно-модифицированных материалов и структуры, специализирующиеся на разработке аппаратного обеспечения ускорителей заряженных частиц.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данной конструкции. Результаты сегментирования представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты сегментирования

		Конструкция мишенного узла синтеза изотопов медицинского назначения				
		Фармакологическая промышленность	Лаборатории	Центры ядерной медицины	Онко-диспансеры	Ядерно-модифицированные материалы
Потребность	Сильная					
	Слабая					

### 3.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет своевременно вносить корректировки в проект, чтобы успешнее противостоять конкурентам. Поскольку рынки пребывают в постоянном движении, необходимо периодически проводить такой анализ. Проведенный анализ для разрабатываемой под эксплуатацию на импульсном ускорителе конструкции, на текущий момент представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок); к1 – циклотрон компании IBA; к2 – циклотрон компании Siemens

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{к1}$	$B_{к2}$	$K_{\phi}$	$K_{к1}$	$K_{к2}$
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Радиационная безопасность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Максимальная производительность*	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
3. Вариативность производимых изотопов	0,1	5	2	3	0,5	0,2	0,3
4. Компактность/мобильность	0,1	5	2	1	0,5	0,2	0,1
5. Автоматизация	0,05	3	5	5	0,15	0,25	0,25
6. Энергия пучка	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Научная и техническая оснащённость компаний/лаборатории	0,17	2	5	4	0,34	0,85	0,68
2. Затраты на разработку	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
3. Минимизация энергопотребления	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
4. Финансирование разработки	0,13	3	4	4	0,39	0,52	0,52
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>3,98</b>	<b>4,02</b>	<b>3,9</b>

\*С помощью Cyclone® KEU от компании IBA можно производить до 30 доз ФДГ за 2-х часовой цикл [25]. По данным [26] в среднем доза составляет 240-370 МБк на одного пациента, т.е. максимальная производительность, учитывая время на разработку препарата (до 5 периодов полураспада)  $\approx 7-8$  Ки.

На циклотроне Eclipse NP от компании Siemens максимальная производительность для [ $^{18}\text{F}$ ] F- составляет 7 Ки за 2 часа на 2 мишенях. [27]

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что разработанная модель обладает преимуществом в вариативности производимых изотопов, мобильности/компактности и ещё ряде и радиационной безопасности.

### 3.3 SWOT-анализ

Для проведения SWOT-анализа определим сильные и слабые стороны, возможности и угрозы проекта. Результат представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Матрица SWOT, первый этап

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>  С1. Уникальность разработки  С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями  С3. Возможности экспериментального исследования  С4. Высокая заинтересованность проектом  С5. Импортзамещение</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>  Сл1. Техническая сложность проекта  Сл2. Требуются большие финансовые вложения  Сл3. Высокие требования к квалификации разработчиков</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Оптимизация разработки  В2. Закрепление метода  В3. Исследование альтернативных методов</p>		
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Прекращение финансирования при не достижении заявленных промежуточных результатов  У2. Бюрократические препятствия сдачи проекта</p>		

У3. Отсутствие финали- зированных теоретиче- ских моделей физиче- ских процессов		
---	--	--

В таблице 14 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями и слабых сторон с угрозами, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 14 – Матрица SWOT, второй этап

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	-	+	+	-	-
B2	-	+	+	-	-
B3	-	+	+	+	+
Возможности проекта	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3		
B1	+	-	-		
B2	+	-	-		
B3	+	-	+		
Угрозы про- екта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
У1	+	-	+	+	+
У2	+	-	-	-	-
У3	+	-	+	-	-
Угрозы про- екта	Слабые стороны проекта				
	Сл1	Сл2	Сл3		
У1	+	+	+		
У2	+	+	-		
У3	+	-	+		

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «+» – сильное соответствие сильной стороны и возможности,

«-» – слабое соотношение, «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Итоговая матрица SWOT-анализа приведена в таблице 15:

Таблица 15 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны проекта:</b> С1. Уникальность разработки С2. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями С3. Возможности экспериментального исследования С4. Высокая заинтересованность проектом С5. Импортзамещение	<b>Слабые стороны проекта:</b> Сл1. Техническая сложность проекта Сл2. Требуются большие финансовые вложения Сл3. Высокие требования к квалификации разработчиков
<b>Возможности:</b> В1. Оптимизация разработки В2. Закрепление метода В3. Исследование альтернативных методов	1. Уникальность разработки состоит в поиске, выборе и оттачивании методики конструирования мишенного узла, включающего в себя различные аспекты инженерных практик, способствующих удешевлению дальнейшего производства 2. Высокая заинтересованность проектом способствуют активному и более широкому подходу к исследованию	1. Техническая сложность заключается в доведении конструкции до инженерного оптимума, что требует не просто выбрать метод разработки, но и выделить, а также усовершенствовать его преимущества, при этом консультируясь со специалистами в своей области
<b>Угрозы:</b> У1. Прекращение финансирования при не достижении заявленных промежуточных результатов	1. Уникальность разработки, а также сфера её применения сопряжена со многими количеством сопутствующих усложнений, компенсация которых происходит за	1. Проектировочные исследования обязаны действовать высококлассных специалистов/консультантов, достойно оплачивая их работу, но даже в таком

<p>У2. Бюрократические препятствия сдачи проекта</p> <p>У3. Отсутствие финализированных теоретических моделей физических процессов</p>	<p>счёт высокой актуальности проекта, т.е. непосредственной заинтересованностью государства</p>	<p>случае конкурентоспособность, при худшем стечении обстоятельств, может не выйти на должный уровень упёршись в банальную недостаточность теоретических моделей</p>
--	---	--

Таким образом, на данный момент преимущества разрабатываемого проекта в уникальности, низких, по сравнению с конкурентами, финансовых затратах и актуальности за счёт импортозамещения.

### 3.4 Планирование проекта

Работа по теме включает в себя следующие этапы:

1. Составление технического задания;
2. Изучение проблемы, обзор литературы;
3. Календарное планирование работ;
4. Подготовка образца;
5. Отладка метода и применение к первичному образцу;
6. Испытания образца на ускорителе частиц на параметры энергетической проницаемости и стойкости к потоку микрочастиц;
7. Получение результатов тестирования их интерпретация и анализ;
8. Оформление отчета на основании результатов проверки.

Для выполнения выпускной квалификационной работы сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и студент.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления. Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Расчет параметров линейного графика требует определения продолжительности работ. При отсутствии

нормативов времени на проведение отдельных видов работ используются вероятностные оценки. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка задания	1	Составление технического задания	научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение проблемы, обзор литературы	научный руководитель, студент
	3	Календарное планирование работ	студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Подготовка образца	научный руководитель, студент
	5	Испытание образца на параметры газо-/энергопроницаемости	научный руководитель, студент
	6	Получение результатов тестирования их интерпретация и анализ	научный руководитель, студент
	7	Отладка метода и применение к первичному образцу	научный руководитель, студент
	8	Тестирование образца на ускорителе частиц	научный руководитель, студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оформление отчета	студент

### 3.4.1 Определение трудоемкости выполнения ВКР

Для оптимизации работ используем классический метод линейного планирования и управления, в результате составим линейный график выполнения всех работ.

Для определения трудовых затрат сначала необходимо задать минимально возможную трудоемкость выполнения этапа и максимально возможную, тогда ожидаемая трудоемкость определяется по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (2)$$

Продолжительность работы в рабочих днях определяется следующим образом:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (3)$$

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

### 3.4.2 Разработка графика проведения ВКР

Поскольку проект является сравнительно небольшим, то оптимальным является построение ленточного графика проведения работ, для большей наглядности и удобства. Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Перед построением диаграммы Ганта определим длительность работ каждого этапа в календарных днях. Вычисление начинается с определения коэффициента календарности:

$$k = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4)$$

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

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

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

$$k = \frac{366}{366 - 104 - 14} = 1,478$$

Зная коэффициент, можно определить длительность работ в календарных днях:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k \quad (5)$$

Используя вышеуказанные формулы, оформим вычисление в виде таблицы 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения инженерного проекта

Этап	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни			
1	4,0	7,0	5,2	Н.р.	5,2	7,7
2	10,0	17,0	12,8	Н.р.+с.	6,4	9,5
3	3,0	5,0	3,8	с.	3,8	5,6
4	15,0	19,0	16,6	Н.р.+с.	8,3	12,3
5	12,0	16,0	13,6	Н.р.+с.	6,8	10,1
6	12,0	14,0	12,8	Н.р.+с.	6,4	9,5
7	10,0	14,0	11,6	Н.р.+с.	5,8	8,6
8	5,0	7,0	5,8	Н.р.+с.	2,9	4,3
9	10,0	20,0	14,0	с.	14,0	20,7
<b>Итого</b>						88,1

На основании таблицы 17 построена диаграмма Ганта, которая представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Календарный план-график (диаграмма Ганта) проведения ВКР

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ, неделя											
				март			апрель			май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Составление технического задания	н.р.	7,7	■											
2	Изучение проблемы, обзор литературы	н.р.+с.	9,5		■										
3	Календарное планирование работ	с.	5,6			■									
4	Подготовка образца	н.р.+с.	12,3			■	■								
5	Испытание образца на параметры газо-/энергопроницаемости	н.р.+с.	10,1					■	■						
6	Получение результатов тестирования их интерпретация и анализ	н.р.+с.	9,5							■	■				
7	Отладка метода и применение к первичному образцу	н.р.+с.	8,6									■	■		
8	Тестирование образца на ускорителе частиц	н.р.+с.	4,3										■		
9	Оформление отчета	с.	20,7											■	■

### 3.5 Бюджет проекта

Бюджет проекта складывается из материальных затрат, основной заработной платы исполнителей ВКР, отчислений во внебюджетные фонды и накладных расходов.

#### 3.5.1 Материальные затраты

Расчет материальных затрат производится по формуле:

$$C_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении ВКР;

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов, планируемых к использованию при выполнении ВКР;

$C_i$  – цена материального ресурса за единицу;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, значение которого варьируется от 15 до 25 %.

Расчёт:

1. упаковка чашек Петри диаметром 90 мм, 20 шт., стерильные;
2. хлорное железо ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), 250 г.;
3. ацетон, 1 л.;
4. клей БФ на спиртовой основе, 15 г.;
5. упаковка бумаги.

$$C_M = 1,2 \cdot 1 \cdot (450 + 250 + 685 + 200 + 150) = 2082 \text{ руб.}$$

Затраты на электроэнергию рассчитываются следующим образом:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об}, \quad (7)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на электроэнергию, для Томска на 2022 год тариф составляет 3,85 руб./кВт·ч);

$P$  – мощность оборудования.

$F_{об}$  – время использования оборудования.

Расчет:

1. использование магнетронной распылительной установки с мощностью 4,5 кВт в течении 120 часов с КПД 70% для напыления покрытия;
2. использование ускорителя с КПД 70%, 100 импульсов по 750 Дж на каждый, частота следования импульсов 0,1 (1/с).

$$C = 3,85 \cdot 1,3 \cdot \left( \frac{750 \cdot 100 \cdot 0,1}{1000} + 4,5 \cdot 120 \right) = 2740,24 \text{ руб.}$$

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	С <sub>м</sub> , руб.
Бумага А4	1	450	540
Чашки Петри	1	250	300
Хлорное железо	1	685	822
Ацетон	1	200	240
Клей БФ	1	150	180
Электроэнергия	89,3	3,85	2740,24
<b>Итого</b>			<b>4822,24</b>

### 3.5.2 Затраты на специальное оборудование

При выполнении ВКР использовалось личное оборудование. Рассчитаем сумму амортизационных отчислений:

$$C_a = \sum_{i=1}^n \frac{Ц_{бал} \cdot H_a \cdot g_i \cdot t}{\Phi_{эф}}, \quad (8)$$

где  $Ц_{бал}$  – стоимость вида оборудования;

$H_a$  – норма годовых амортизационных отчислений;

$g_i$  – количество единиц оборудования;

$t$  – время работы оборудования;

$\Phi_{эф}$  – эффективный фонд времени работы оборудования;

В работе спецоборудованием является ноутбук стоимостью 70000 рублей. Норма амортизации 25 %. Время использования оборудования 56 дней.

$$C_a = \frac{70000 \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 56}{251} = 3904,38 \text{ руб.}$$

### 3.5.3 Заработная плата исполнителей ВКР

Заработная плата исполнителей ВКР складывается из основной и дополнительной:

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (9)$$

Основную заработную плату можно определить так:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (10)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ.

Среднедневная заработная плата работника определяется по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (11)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (10,4 месяца, при отпуске в 48 рабочих дней, 6-дневная неделя);

$F_d$  – расчетный годовой фонд рабочего времени персонала.

Таблица 20 – Расчетный годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
-выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	48
-невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Расчет среднедневной заработной платы и основной заработной платы для научного руководителя (оклад доцента, кандидата наук 37 700 руб.):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{49010 \cdot 10,4}{251} = 2030,7 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2030,7 \cdot 32 = 64\,982,4 \text{ руб.}$$

Для студента (при расчетах принимается, что оклад студента принимается равным минимальному размеру оплаты труда 13 890 руб.):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{18057 \cdot 10,4}{251} = 748,2 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 748,2 \cdot 70 = 52\,374 \text{ руб.}$$

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{тс}}$ , руб.	$k_p$	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Научный руководитель	37700	1,3	49019	2030,7	32	64 982,4
Студент	13890	1,3	18057	748,2	70	52 374
<b>Итого</b>						<b>89 212</b>

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}. \quad (12)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}} = 0,14$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Таблица 22 – Заработная плата исполнителей ВКР

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата $Z_{\text{осн}}$ , руб.	64 982,4	52 374

Дополнительная зарплата $Z_{доп}$ , руб.	9097,5	7332,4
Итого по статье $Z_{зп}$ , руб.	74 079,9	59 706,4
<b>Итого</b>	133 786,3	

### 3.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{общ} \quad (13)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, варьируется от 30 до 35 %. При расчетах примем, что  $k_{внеб} = 30,2$  % для образовательных и научных учреждений.

Из предыдущих пунктов,  $Z_{общ} = 133786,3$  руб. Тогда величина отчислений составит:

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 133\,786,3 = 40\,403,5 \text{ руб.}$$

### 3.5.5 Накладные расходы

Вычисление накладных расходов производится по формуле:

$$C_{накл} = k_{накл} \cdot Z_{1-3} \quad (14)$$

где  $k_{накл}$  – коэффициент накладных расходов, при расчете примем равным 16 %.

$$C_{накл} = 0,16 \cdot 135\,426,0 = 21\,668,2 \text{ руб.}$$

### 3.5.6 Формирование бюджета затрат ВКР

На основании проведенных расчетов, составим таблицу с полученными затратами ВКР.

Таблица 23 – Бюджет затрат ВКР

<b>Затраты</b>	<b>Сумма, руб.</b>
Материальные затраты	4822,24
Затраты на специальное оборудование	3904,38
Заработная плата исполнителей проекта	133 786,3
Отчисления во внебюджетные фонды	40 403,5
Накладные расходы	21 668,2
<b>Итого</b>	<b>204 584,62</b>

### 3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности ВКР

#### 3.6.1 Оценка научно-технического эффекта

Оценка научно-технического эффекта производится на основании коэффициента социально-научного эффекта:

$$H_T = \sum_{i=1}^3 r_i k_i \quad (15)$$

где  $r_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;  
 $k_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака.

Таблица 24 – Весовые коэффициенты признаков научно-технического эффекта

Признаки научно-технического эффекта	Примерные значения весового коэффициента
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

Таблица 25 – Баллы уровней новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиальное	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники	8-10
Новое	По-новому или впервые объяснены известные факты, закономерности	5-7
Относительно новое	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований	2-4

Традиционные	Работа, выполненная по традиционной методике, результаты исследований носят информационный характер	1
Не обладающие новизной	Получен результат, который был ранее известен	0

Таблица 26 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
Установление закона; разработка новой теории	9-10
Глубокая разработка проблемы: многоаспектный анализ связей, взаимозависимости между фактами с наличием объяснения	7-8
Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, новшество и т..)	3-6
Элементарный анализ связей между фактами с наличием гипотезы, симплексного прогноза, классификации, объясняющей версии или практические рекомендации частного характера	0.6-2
Описание отдельных элементарных фактов (вещей, свойств и отношений); изложение опыта, наблюдений, результатов измерений	0-0.5

Таблица 27 – Вероятность реализации по времени и масштабу реализации

Время реализации	Баллы
В течении первых лет	5-10
От 5 до 10 лет	3-4
Более 10 лет	0-2
Масштабы реализации	Баллы
Одно или несколько предприятий	0-2
Отрасль (министерство)	3-4
Народное хозяйство	5-10

Проект оценивается следующим образом:

- балл уровня новизны – 7
- балл значимости теоретического уровня – 6
- балл по вероятности реализации – 4+4=7

$$H_T = 0,6 \cdot 7 + 0,4 \cdot 6 + 0,2 \cdot 8 = 8,2$$

Таблица 28 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень научно-технического эффекта	Коэффициент научно-технического эффекта
Низкий	1-4
Средний	5-7
Сравнительно высокий	8-10
Высокий	11-14

Исходя из таблицы 28, уровень научно-технического эффекта – сравнительно высокий.

### 3.6.2 Оценка сравнительной эффективности исследования

Конструкция мишенного узла подразумевает использование материалов способных наименьшим образом ослаблять пучок и выдерживать значительные радиационные и термические нагрузки, так в некоторых работах коллег использовались для исследования фольги из титана BT1-0 толщиной 0,01 мм (Аналог 1) и стоимостью за 1 кг в 1388 руб., а также сплав ASTM F1058 Navar (Аналог 2) стоимость которого варьируется от 170 долларов США за 1 кг.

Только за счёт себестоимости аналога 1 расходы сократятся, но учитывая дополнительные затраты на возможные сопутствующие исследования и эксперименты, стоимость которых варьируется от 3 до 150 т. руб. на один образец [28], можно сделать вывод об итоговом увеличении затрат на 35%. Сплав Navar, только за счёт себестоимости, сильно увеличит финансовые затраты, учитывая сопутствующие исследования стоимость исследований увеличится на 240%.

Сравнительный бюджет разработки конструкции с использованием альтернативных материалов сведен в таблицу 29.

Таблица 29 – Бюджет исполнения конструкции из других материалов

Проект	Бюджет, руб.	Интегральный финансовый показатель разработки
Текущий проект	204 584,62	0,29
Аналог 1	276 189,24	0,39
Аналог 2	695 587,70	1

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик исполнения конструкции из других материалов

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Термическая устойчивость	0,2	5	5	5
2. Прочность	0,2	3	4	4
3. Химическая инертность	0,2	5	1	1
4. Энергетическая проницаемость	0,2	4	2	2
Доступность	0,1	4	4	2
Экспериментальная мобильность	0,1	5	5	5

$$I_{mn} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,3$$

$$I_1 = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 3,3$$

$$I_2 = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 1 + 0,2 \cdot 2 + 0,1 \cdot 2 + 0,1 \cdot 5 = 3,1$$

Таблица 31 – Сравнительная эффективность разработки

Проект	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель	0,29	0,39	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,3	3,3	3,1
Интегральный показатель эффективности	14,83	8,46	3,1
Сравнительная эффективность исполнения конструкции из других материалов	-	1,75	4,78

Исходя из таблицы 31, можно сделать вывод, что текущий проект является наиболее эффективным, но требуется допустить поправку на то, что полный план исследований с использованием аналогов является задачей для отдельной ВКР, так что данный анализ нельзя считать полноценным.

## **Выводы по разделу**

1. Анализ конкурентных технических решений показал, что разработанная модель обладает преимуществом в вариативности производимых изотопов, мобильности/компактности и ещё ряде и радиационной безопасности.
2. На данный момент преимущества разрабатываемого проекта в уникальности, низких, по сравнению с конкурентами, финансовых затратах и актуальности за счёт импортозамещения.
3. Бюджет проекта составил 204 584,62 рублей.
4. Уровень научно-технического эффекта – сравнительно высокий.

## **4 Социальная ответственность**

В работе проводится проектирование и воплощение конструкции мишенного узла для синтеза изотопа медицинского назначения. Результатом разработки будет являться мишенный узел для специфичного импульсного коллективного ускорителя, принципиально способного производить изотоп  $^{18}\text{F}$  использующийся в ПЭТ диагностике как маркирующий агент.

Анализ и интерпретация данных проводились в аудитории №125А-10 Томского политехнического университета, при этом в экспериментах были задействованы: ускоритель ионов «ТЕМП», химическая лаборатория и магнетронная распылительная система.

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс исследования, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

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

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

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации, каждый работник имеет право на:

1. рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
2. обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

3. получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
4. отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
5. обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
6. обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
7. личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
8. внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
9. гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В трудовом кодексе Российской Федерации говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником [29].

#### **4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя**

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. Инвентарь, часто используемый при выполнении работ, должен располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как изображено на рис. 20.

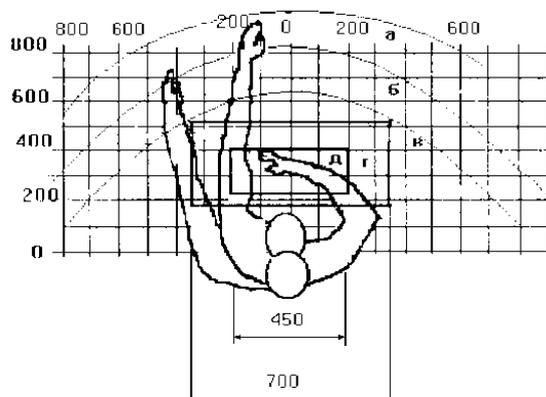


Рисунок 20 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а - зона максимальной досягаемости рук; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

1. дисплей размещается в зоне «а» (в центре);
2. клавиатура - в зоне «г» и «д»;
3. системный блок размещается в зоне «б» (слева);
4. принтер находится в зоне «а» (справа);
5. литература и документация, необходимая при работе находится в зоне легкой досягаемости ладони – «в» (слева);
6. в выдвижных ящиках стола - литература, не используемая постоянно [30].

При выборе рабочего места, а именно письменного стола должны быть учтены следующие требования, которые представлены в таблице 32.

Таблица 32 – Требования к оснащению рабочего места, предусматривающего длительную работу за ПК

Ширина рабочего стола	От 80 до 140 см
Высота рабочего стола	75 см
Глубина рабочего стола	От 60 до 80 см
Расстояние от глаз до монитора	От 50 до 60 см
Расстояние клавиатуры от края стола	От 10 до 30 см
Сидение	Должно позволять регулировку по высоте, повороту и углу наклона спинки (регулировки должны быть независимыми друг от друга)
Пространство для ног	Ширина от 30 см, глубина – от 40 см, с углом наклона до 20 градусов

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

Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора:

1. по высоте +3 см;
2. наклон относительно вертикали 10 - 20 градусов;
3. в левом и правом направлениях.

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания [30].

## 4.2 Производственная безопасность

### 4.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

Производственные условия на месте выполнения работы характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые по природе возникновения делятся на следующие группы:

1. физические;
2. химические;
3. психофизиологические;
4. биологические [31].

Опасные и вредные факторы в №125А-10, которые могут воздействовать на персонал при проведении эксперимента и работе на ПЭВМ, приведены в таблице 33.

Таблица 33 – Опасные и вредные факторы

Факторы		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
Химические вредные вещества.	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества [32].
–	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [33].
Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	–	СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона [34].
–	Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [35].
Шум, вибрация, микроклимат	–	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [36].

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, можно отнести:

1. нервно-эмоциональные перегрузки;

2. умственное напряжение;
3. физические перегрузки.

Биологические и химические вредные производственные факторы в лаборатории №125А корпуса ТПУ №10 отсутствуют.

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

В соответствии с основными требованиями к помещениям для эксплуатации ПЭВМ. Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>.

#### **4.3.1 Отклонение показателей микроклимата**

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с нормами и приведены в таблице 34. Таблица 34 – Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Теплый	22-24	40	0,1

Отклонение показателей микроклимата от нормы не вызывает повреждений или нарушений состояния здоровья, но может приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности [31].

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха на рабочих местах и в помещениях применяют вентиляцию.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Оптимальная кратность воздухообмена в производственных помещениях находится в достаточно широких пределах: от 3 до 40 раз в час [31]. В используемой лаборатории не установлены вытяжные системы. Объем лаборатории №125А составляет:

$$V = a \cdot b \cdot h = 45,6 \cdot 3,5 = 159,6 \text{ м}^3. \quad (16)$$

Естественный воздухообмен через открытую дверь площадью 3,5 м<sup>2</sup> и скорости при скорости движения воздушных масс от 0,5 м/с [37] обеспечивает следующую кратность воздухообмена (ВО) в лаборатории:

$$VO = \frac{Q}{V} = \frac{(3,5 \cdot 0,5 \cdot 3600)}{159,6} = 39,5 \quad (17)$$

Таким образом установлено, что микроклимат в используемой лаборатории №125А-10 учебного корпуса ТПУ соответствует оптимальным условиям работы [36].

#### **4.3.2 Повышенный уровень электромагнитного излучения**

Электромагнитное излучение - распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля. Ускоритель ионов «ТЕМП» и магнетронная распылительная система питаются от генератора высокочастотного тока, и являются источниками ВЧ-излучения. Каждая из установок экранирована и сертифицирована по не превышению показателю электромагнитного воздействия. Предельно допустимая величина электромагнитного воздействия от установки на человека составляет менее 0,2 мкТл. Это значение входит в допустимый порог строгих санитарных норм электромагнитного излучения [34]. Непосредственного присутствия при работе установок не происходило, использовалась только ПЭВМ для анализа данных. Установки не находятся в аудитории №125А корпуса ТПУ №10.

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [34].

Таблица 35 – Допустимые уровни параметров электромагнитного поля

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электромагнитного поля	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	Диапазон частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	Диапазон частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

3увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);

4применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты [34].

Таким образом установлено, что в лаборатории №125А-10 учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [34].

### 4.3.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

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

По нормативам освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [31].

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не

более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

1. системой общего равномерного освещения.
2. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:
3. комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
4. местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [31].

Площадь помещения:

$$S = a \cdot b, \quad (18)$$

где А – длина, м; В – ширина, м.

$$S = 45,6 \text{ м}^2,$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор  $\rho_c = 50 \%$ , свежепобеленного потолка  $\rho_{\Pi} = 70 \%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $K_3 = 1,5$ . Коэффициент неравномерности для светодиодных лент  $Z = 1,1$ .

Выбираем светодиодные офисный светильники АРМСТРОНГ 36 Вт, 595x595x25 мм, световой поток которых равен  $\Phi_{\text{лд}} = 3150 \text{ Лм}$ .

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для светодиодных светильников с защитным рассеивателем лежит в диапазоне 1,1 – 1,3. Принимаем  $\lambda = 1,1$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0,5 \text{ м}$ .

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (19)$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для светильников АРМСТРОНГ:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (20)$$

Из формулы

$$\Phi_{л} = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} \quad (21)$$

находим число светильников  $N$

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_{л} \cdot \eta}. \quad (22)$$

$\eta$  определяем через индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{45,6}{3,5 \cdot (4,75 + 9,6)} = 0,91. \quad (23)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светодиодных светильников АРМСТРОНГ при  $\rho_{п} = 70 \%$ ,  $\rho_c = 50 \%$  и индексе помещения  $i \approx 1$  равен  $\eta = 0,45$ .

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_{л} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 45,6 \cdot 1 \cdot 1,1}{3150 \cdot 0,45} = 10,6 \text{ светильников;}$$

Принимаем количество светильников равным 12. Организуем осветительную систему в 2 ряда по 6 светильников.

Потребный световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_{л} = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 45,6 \cdot 1 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,45} = 2786 \text{ Лм.}$$

Из условий равномерности освещения определяем расстояния  $L_1$  и  $\frac{L_1}{3}$ ,  $L_2$  и  $\frac{L_2}{3}$  по следующим уравнениям:

$$4750 = L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 2 \cdot 595; L_1 = 2136 \text{ мм, } \frac{L_1}{3} = 712 \text{ мм;} \quad (24)$$

$$9600 = 5 \cdot L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 6 \cdot 595; L_2 = 1064 \text{ мм, } \frac{L_2}{3} = 355 \text{ мм;} \quad (25)$$

На рис. 21 изображен план помещения и размещения светильников со светодиодными лентами в лаборатории №125А-10 учебного корпуса ТПУ.

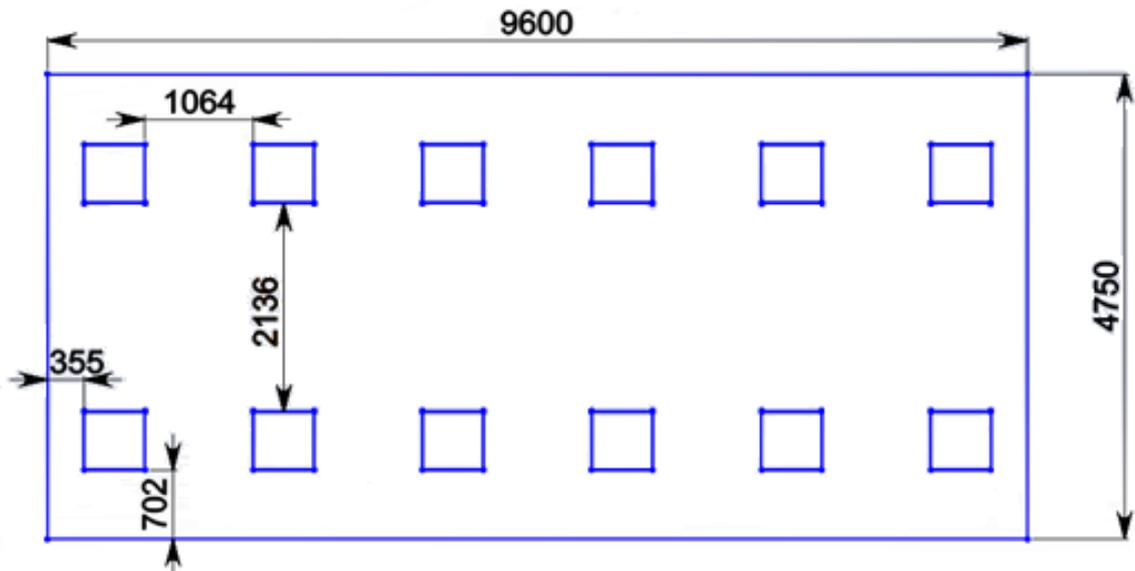


Рисунок 21 – План помещения и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

$$\frac{-10\% \leq (\Phi_{л\partial} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\partial}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (26)$$

$$\frac{(\Phi_{л\partial} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\partial} \cdot 100\%} = \frac{(3150 - 2786)}{3150} \cdot 100\% = 11,5\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Мощность осветительной установки получилась:

$$P = 36 \cdot 12 = 432 \text{ Вт.}$$

Расчётное количество светильников фактически соответствует количеству установленных светильников в лаборатории №125А-10 учебного корпуса ТПУ.

#### 4.3.4 Превышение уровня шума

Шум, являясь общебиологическим раздражителем, оказывает влияние не только на слуховой анализатор, но действует на структуры головного мозга, вызывая сдвиги в различных функциональных системах организма. Среди многочисленных проявлений неблагоприятного воздействия шума на организм человека выделяются: снижение разборчивости речи, неприятные ощущения, развитие утомления и снижение производительности труда, появление шумовой патологии. В нашем случае источником шума является форвакуумный насос, уровень шума которого не превышает 55 дБ, что соответствует санитарным нормам [36]. В таблице 36 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 36 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБа
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
Научная работа, расчеты, конструирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	55

Уровень шума в аудитории №125А-10 при выполнении теоретических расчётов не превышал нормативные значения [36].

### **4.3.5 Психофизиологические факторы**

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

Трудовая деятельность работников непромышленной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональную активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развитию утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [31].

### **4.3.6 Поражение электрическим током**

Рабочее помещение по опасности поражения электрическим током можно отнести ко 2 классу, т.е. это помещение без повышенной опасности из-за возможности одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой [33].

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

1. при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;

2. при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
3. при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
4. при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки [33].
5. Степень опасного воздействия электрического тока на организм человека зависит от:
  6. рода и величины напряжения и тока;
  7. частоты электрического тока;
  8. пути прохождения тока через тело человека;
  9. продолжительности воздействия на организм человека;
  10. условий внешней среды [31].

Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, механическое и биологическое воздействие.

Термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагреве кровеносных сосудов и других органов, в результате чего в них возникают функциональные расстройства.

Электролитическое действие тока характеризуется разложением крови и других органических жидкостей, что вызывает нарушения их физико-химического состава.

Механическое действие тока проявляется в повреждениях (разрыве, расслоении и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта. [33]

Биологическое действие тока на живую ткань выражается в опасном возбуждении клеток и тканей организма, сопровождающемся произвольными судорожными сокращениями мышц. В результате такого возбуждения может возникнуть нарушение и даже полное прекращение деятельности органов дыхания и кровообращения [31].

Основными мероприятиями по защите от поражения электрическим током являются [33]:

1. обеспечение недоступности токоведущих частей путём использования изоляции в корпусах оборудования;
2. применение средств коллективной защиты от поражения электрическим током;
3. использование защитного заземления, защитного зануления, защитного отключения;
4. использование устройств бесперебойного питания.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж проводится всему неэлектротехническому персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год [31].

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

При выполнении данной ВКР использовались магнетронная распылительная система и ускоритель лёгких ионов «ТЕМП». Установки питаются от сети с промышленным напряжением 380 В.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск до работ с напряжениями свыше 1000 В [31].

#### 4.4 Экологическая безопасность

В работе проводится разработка конструкции мишенного узла для синтеза ультрокороткоживущих изотопов медицинского назначения. При этом используется магнетронная распылительная система и ускоритель лёгких ионов «ТЕМП».

Влияние эксплуатации оборудования на окружающую среду минимально. Наибольший вред от них в работе – потребление электроэнергии. ПЭВМ, ускоритель и магнетронная распылительная система не производят выбросов вредных веществ, не создают излучения, способного нарушить экологическую безопасность природы. Однако их производство и утилизация составляют серьезную проблему. Так, при производстве ПЭВМ и других устройств используются тяжелые, щелочноземельные металлы, ртуть, пластик и стекло, что без должной утилизации по окончании службы попадает в природу и остается в не переработанном виде от века до полутора тысяч лет [31].

Мероприятия, позволяющие сохранять экологическую безопасность находясь на рабочем месте [31]:

1. Правильная утилизация ПЭВМ и других систем, а также их комплектующих;
2. Использование энергосберегающих ламп;
3. Использование аккумуляторов вместо солевых батареек.

Снижение уровня загрязнения окружающей среды возможно за счёт разработки оборудования и комплектующих, оптимально потребляющих электроэнергию, а также более эффективного и экономного использования электроэнергии лабораторией. Ресурсоэффективность при этом достигается за счёт использования не только более экономичного оборудования, но и эффективного режима эксплуатации этого оборудования. Сюда также включается и соблюдение производственной дисциплины в рамках правильного использования электроэнергии [31].

Из этого можно сделать простой вывод, что необходимо стремиться к снижению энергопотребления, то есть разрабатывать и внедрять системы с малым энергопотреблением, ответственно относиться к утилизации различных устройств, т.к. они могут разлагаться в окружающей среде до сотен лет.

#### **4.5 Пожарная и взрывная безопасность**

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [35]. Так как помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания [35]:

1. работа с открытой электроаппаратурой;
2. короткие замыкания в блоке питания;
3. несоблюдение правил пожарной безопасности;
4. наличие горючих компонентов.

Наиболее опасным с точки зрения пожарной безопасности веществом, применяемым в работе, является этанол.

Все работы с этанолом должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции вдали от огня и источников искробразования.

При отборе проб, проведении анализа и обращении в процессе транспортных и производственных операций с этанолом применяются индивидуальные средства защиты по нормам выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств защиты, утвержденным в установленном порядке.

Для тушения горящего этанола применяют порошковые огнетушители, средства объемного тушения (минимальная огнетушащая концентрация: углекислого газа – 29 % (по объему), азота – 43 % (по объему), дибромтетрафторэтана – 2,1 % (по объему), песок, асбестовое одеяло и пену.

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

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации. [35]

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [31].

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности [31]:

1. исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
2. правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
3. правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
4. обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
5. издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
6. соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
7. правильное размещение оборудования;

8. своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.
9. При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.
10. При возникновении аварийной ситуации необходимо [35]:
11. сообщить руководству (дежурному);
12. позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112;
13. принять меры по ликвидации последствий аварии в соответствии с инструкцией.

## **4.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **4.6.1 Анализ типичной ЧС при проведении исследования**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. В таблице 37 рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы по их предотвращению и ликвидация их последствий.

Таблица 37 – Чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидация последствий

№	Чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения ЧС	Ликвидация последствий ЧС
1	Пожар	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа;	Вызов пожарной службы и спасателей (тел. 112);

№	Чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения ЧС	Ликвидация последствий ЧС
		Соблюдение технологических режимов производства; Создание условий для эвакуации персонала	Вызов скорой медицинской помощи
2	Удар током	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Содержание энергетических сетей в исправном состоянии	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи
3	Травмирование в результате падения с высоты	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Создание систем предупреждения падений; Соблюдать требования безопасности при выполнении работ на высоте	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи

### Выводы по разделу

В данной главе проведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований:

- микроклимат [31];
- шум и вибрация [36];
- электромагнитное излучение [34];
- освещенность [31];
- психофизиологические факторы [31];
- электробезопасность [33];
- пожаро-взрывобезопасность [35].

Помещение № 125А-10 корпуса ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – ко 2 классу [33];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [35].

Также рассмотрены возможные чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

## Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы были достигнуты поставленные цели и задачи. Составлен литературный обзор, затрагивающий такие аспекты как: свойства, методы получения и формы существования целевого изотопа  $^{18}\text{F}$ . Обозначены предполагаемые сложности при работе со фтором, затрагивающие как выделение сырьевого стабильного изотопа  $^{19}\text{F}$ , так и его последующее использование.

Выделены аксиомы выбора оптимальных с конструкторской и экономической точек зрения ядерной реакции синтеза медицинских изотопов. Выбран для реализации газофазный мишенный узел с содержательной ёмкостью, позволивший реализовать синтез медицинского изотопа по ядерной реакции с наибольшим сечением захвата при наименьшей пороговой и пиковой энергиями –  $^{19}\text{F}(p,p+n)^{18}\text{F}$ . Выбранная реакция не только позволяет использовать достаточно дешёвый сырьевой  $^{19}\text{F}$ , но направляет разработку конструкции мишенного узла в соответствии с эксплуатационными особенностями сильноточного ускорителя.

Выполнен обзор статей, раскрывающий методы подхода к синтезу медицинских изотопов и получению препаратов на их основе, а также детализирующий характерные особенности разработки мишенных узлов.

Проведены эксперименты, направленные на создание метода получения выходного окна мишенного узла с внедрённой самоподдерживающейся мембраной Al-Si-N. Эксперимент показал недостаточную стойкость выбранного покрытия при обработке выбранным методом и его последующими доработками. Таким образом, требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований.

Инициировано моделирование в программной среде SRIM/TRIM взаимодействия пучка протонов в энергетическом диапазоне 1,5÷3,5 МэВ с покрытиями, подходящими для использования в указанных целях. Результаты указывают на наибольшую перспективность покрытия Al-Si-N как материала, имеющего наибольшую энергетическую проникаемость для пучка.

Выполнено задание по части Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Уникальностью разработки и экономические показатели по сравнению с конкурентами указывают на весомую перспективность развития данного проекта.

В разделе социальная ответственность рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс исследования, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях. Проведена проверка соответствия рабочей аудитории №125А-10 нормативным условиям, прошедшая успешно.

Автор выпускной работы выражает благодарность сотрудникам НПЛ ИПЭПТ Томского политехнического университета Павлову С.Н., Дмитриенко И.В., Дмитриенко В.П., заведующему лабораторией, доктору технических наук Ремнёву Г.Е. за неоценимую помощь при выполнении данной работы, своему научному руководителю кандидату технических наук, доценту ОЯТЦ Черепенков Ю.М. за постоянную помощь и многочисленные обсуждения аспектов работы, а также своей супруге Неволной А.А. за безразмерную помощь и всеобъемлющую поддержку.

## Источники литературы

1. Рысс И. Г., Химия фтора и его неорганических соединений, М., 1956; Фтор и его соединения, пер. с англ., т. 1—2, М., 1953—56; Профессиональные болезни, 3 изд., М., 1973.
2. [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.bd216fdf-6204225e-5f045c67-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Fluorapatite](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.bd216fdf-6204225e-5f045c67-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Fluorapatite)
3. <https://www.lib.tpu.ru/fulltext/v/Conferences/2011/C6/C6a60.pdf>
4. <https://xumuk.ru/encyklopedia/2/4936.html>
5. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/isotopes/Fluorine.pdf#:~:text=В%20радиоизотопных%20исследованиях%20обычно%20используют,накопления%20радионуклида%20одновременно%20вводят%20перхлорат>
6. Николаев Н.С., Суворова С.Н., Гурович Е.И., Пека И., Корчемная Е.К., Аналитическая химия фтора. — М.: Наука, 1970. — 196 с. — (Аналитическая химия элементов). — 2750 экз.
7. Marcel Guillaume, Andre Luxen, Bruno Nebeling, Mario Argentini, John C. Clark, Victor W. Pike, Recommendations for fluorine-18 production, International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part A. Applied Radiation and Isotopes, Volume 42, Issue 8, 1991, Pages 749-762, ISSN 0883-2889, [https://doi.org/10.1016/0883-2889\(91\)90179-5](https://doi.org/10.1016/0883-2889(91)90179-5).
8. Manuel C. Lagunas-Solar, Omar F. Carvacho, Robert R. Cima, Cyclotron production of PET radionuclides:  $^{18}\text{F}$  (109.77 min;  $\beta^+$  96.9%; EC 3.1%) from high-energy protons on metallic aluminum targets, International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part A. Applied Radiation and Isotopes, Volume 39, Issue 1, 1988, Pages 41-47, ISSN 0883-2889, [https://doi.org/10.1016/0883-2889\(88\)90090-1](https://doi.org/10.1016/0883-2889(88)90090-1).
9. <https://ru.wikipedia.org/wiki/18F>
10. <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/isotopes/Fluorine.pdf>
11. [https://dissert.spbu.ru/files/2019/dissert\\_morteza.pdf](https://dissert.spbu.ru/files/2019/dissert_morteza.pdf)

12. <https://accelconf.web.cern.ch/cyclotrons2010/papers/frm2cio01.pdf>
13. Ryzhkov, V.A., Pyatkov, I.N., & Remnev, G.E. (2021). Time-resolved  $\gamma$ -spectrometer to promptly control number and energy of protons collectively accelerated as different bunches. Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section A-accelerators Spectrometers Detectors and Associated Equipment, 998, 165190.
14. [https://translated.turbopages.org/proxy\\_u/en-ru.ru.1a7b02c4-62042abd-4d7f4c8c-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Prices\\_of\\_chemical\\_elements#cite\\_note-echemi-29](https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.1a7b02c4-62042abd-4d7f4c8c-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Prices_of_chemical_elements#cite_note-echemi-29)
15. <https://www.oncoradjournal.ru/jour/article/view-File/11/11#:~:text=Наработка%20фтора->
16. Gomzina N.A., Vasil'ev D.A., Krasikova R.N. Optimization of automated synthesis of 2-[<sup>18</sup>F]Fluoro-2-deoxy-D-glucose involving base hydrolysis // Radiochemistry. 2002. Vol. 44. № 4. P. 403–409.
17. [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/94604/1/m\\_th\\_t.d.polshina\\_2020.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/94604/1/m_th_t.d.polshina_2020.pdf)
18. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0020708X77901090>
19. Coenen H.H. Fluorine-18 labeling methods: features and possibilities of basic reactions // “PET chemistry: the driving force in molecular imaging”, Ernst Schering Research Foundation Workshop 62 / Eds. P.A. Schubiger, L. Lehmann, M. Fribe. – Berlin : Springer-Verlag, 2007. – P. 15–50.
20. Cai, L., Lu, S., Pike, V.W. Chemistry with [<sup>18</sup>F]Fluoride Ion// Eur. J. Org. 2008, vol. 17- P. 2853 –2873
21. [https://disser.spbu.ru/files/2019/disser\\_morteza.pdf](https://disser.spbu.ru/files/2019/disser_morteza.pdf)
22. Eberl S., Eriksson R., Svedberg O., Norling J., Henderson D., Lam P., Fulham M. High Beam Current Operation of a PETtrace™ Cyclotron for <sup>18</sup>F Production// Applied Radiation and Isotopes, 2012, Vol. 70 - P. 922–930.
23. [https://ru.made-in-china.com/co\\_alloyexporters/product\\_Elastic-Alloy-ASTM-F1058-Havar-Phynox-Elgiloy\\_uouuuourhg.html](https://ru.made-in-china.com/co_alloyexporters/product_Elastic-Alloy-ASTM-F1058-Havar-Phynox-Elgiloy_uouuuourhg.html)
24. <https://monographies.ru/ru/book/section?id=12752>
25. [<https://www.iba-radiopharmasolutions.com/ru/cycloner-key>]

26. <https://diseases.medelement.com/disease/позитронно-эмиссионная-томография-совмещенная-с-компьютерной-томографией-пэт-кт-всего-тела-с-18f-fdg-2019/>
27. <http://medbuy.ru/pozitronno-emissionnyj-tomograf/siemens-eclipse-hp>
28. <https://metall-expertiza.ru/services>
29. Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ
30. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работ».
31. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
32. ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества».
33. ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность».
34. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 «Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона».
35. ГОСТ 12.1.004-91 «ССБТ. Пожарная безопасность».
36. СанПин 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».
37. <https://ivgpu.ru/images/docs/ob-universitete/instituty-fakultety-kafedry/ti/fakultety-kafedry/fttiim/tb/publikatsii/opred-skorosty.pdf>
38. [https://yandex.ru/patents/doc/RU142218U1\\_20140620](https://yandex.ru/patents/doc/RU142218U1_20140620)
39. [https://yandex.ru/patents/doc/RU2716824C1\\_20200317](https://yandex.ru/patents/doc/RU2716824C1_20200317)