

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка мишенного узла для синтеза ультракороткоживущих изотопов при использовании импульсного пучка легких ионов

УДК 621.384.664:621.039.8

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Колесников Евгений Вячеславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Видяев Д.Г.	д.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
Общепрофессиональные	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Дорофеева Л.И.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
0AM91	Колесникову Евгению Вячеславовичу

Тема работы:

Разработка мишенного узла для синтеза ультракороткоживущих изотопов при использовании импульсного пучка легких ионов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1-22/с от 01.04.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> – Материал мишени BN; – диаметр облучаемой зоны 1 см; – вакуум не хуже 10^{-4} Торр; – частота следования импульсов 0,1 Гц.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Определение режима облучения на ускорителе заряженных части; – определение зависимости уноса массы от частоты импульсов; – определение качественного состава мишени после облучения; – оценка изменения механических свойств облученной зоны.;
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> – презентация.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:	Киселева Е.С.
Социальная ответственность	Тимченко С.Н.
Иностранный язык	Шайкина О.И.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском языке:	
Литературный анализ материалов мишени ускорителя заряженных частиц для наработки ¹¹ C	
Методика проведения эксперимента и оборудование	
Проведение эксперимента	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	
Социальная ответственность	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Видяев Д.Г.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Колесников Евгений Вячеславович		

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

Студенту:

Группа		ФИО	
0AM91		Колесникову Евгению Вячеславовичу	
Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Стоимость расходных материалов; 2. Норматив заработной платы.
Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициенты для расчета заработной платы.
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды (30,2%).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Потенциальные потребители результатов исследования; 2. Анализ конкурентных технических решений; 3. SWOT – анализ.
Разработка устава научно-технического проекта	1. Цели и результат проекта. 2. Организационная структура проекта. 3. Ограничения и допущения проекта.
Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	1. Структура работ в рамках научного исследования; 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования; 3. Расчет бюджета научно - технического исследования (НТИ).
Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. Диаграмма Гантта
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Колесников Евгений Вячеславович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM91	Колесникову Евгению Вячеславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Тема ВКР:

Разработка мишенного узла для синтеза ультракороткоживущих изотопов при использовании импульсного пучка легких ионов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Моделирование процесса облучения мишени из нитрида бора импульсным пучком легких ионов; Область применения – Ядерная медицина.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Трудовой кодекс Российской Федерации; – СанПиН 1.2.3685-21; – СНиП 41-01-2003; – ТОИ Р-45-084-01; – ГОСТ 12.1.038-82; – Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Повышенный уровень электромагнитного излучения; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Превышение уровня шума; – Отклонение показателей микроклимата; – Поражение электрическим током.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	– Наиболее вероятная аварийная ситуация на рабочем месте – пожар; – Также возможны: аварии с электрооборудованием и обнаружение предмета, похожего на взрывное устройство.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Колесников Евгений Вячеславович		

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (специальность) 14.04.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
26.02.2021	Выдача задания	
24.03.2021	Выбор материала мишени	
30.03.2021	Облучение мишени из нитрида бора	
15.04.2021	Проведение микровзвешивания	
03.05.2021	Проведение исследования поверхности на шероховатость	
18.05.2021	Оптическая эмиссионная спектрометрия тлеющего разряда	
19.05.2021	Скретч тест	
21.05.2021	Проведение малоугловой рентгеновской дифрактометрии	
22.05.2021	Написание ВКР	
31.05.2021	Сдача работы	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Видяев Д.Г.	Д.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Дорофеева Л.И.	к.ф.-м.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 113 страниц, 41 рисунок, 28 таблиц, 36 источников, 8 приложений.

Ключевые слова: нитрид бора; РФП; УКЖИ; ускоритель «ТЕМП»; мощные импульсные ионные пучки; абляция материала мишени.

Объектом исследования является нитрид бора, используемый в качестве материала твердой мишени для мощных импульсных пучков легких ионов: целевой ультракороткоживущий изотоп ^{11}C , используемый для приготовления радиофармпрепаратов для проведения позитронно-эмиссионной томографии.

Цель работы – обоснование выбора мишени для синтеза УКЖИ ^{11}C при использовании мощных импульсных пучков легких ионов.

В процессе исследования проводилось облучение мощными импульсными пучками легких ионов твердых мишеней из нитрида бора, произведен расчет финансовой составляющей работы, определены факторы, влиявшие на выполнение работы.

В результате исследования определены зависимости уноса массы от частоты следования импульсов, оценено изменение шероховатости поверхности, определен качественный анализ состава облученной мишени, получены сведения о изменении микроструктуры облученной области.

Область применения: ядерная медицина.

Ввиду закрытости данных относительно характера применения результатов данной разработки, оценка её экономической эффективности объективно невозможна.

В процессе работы с консультантом по социальной ответственности выявлены опасные и вредные факторы, воздействующие на человека во время выполнения данного проекта.

Обозначения и сокращения

- ГИН – генератор импульсного напряжения;
- ДФЛ – двойная формирующая линия;
- КНБ – кубический нитрид бора;
- КТ – компьютерная томография;
- КЦФ – коллимирующий цилиндр Фарадея;
- МИД – мощный импульсный диод;
- МИИП – мощный импульсный ионный пучок;
- МУРР – малоугловое рентгеновское рассеяние;
- МЧС – министерство чрезвычайных ситуаций;
- ПЭВМ – прикладная электронно-вычислительная машина;
- ПЭТ – позитронно-эмиссионная терапия;
- РН – радионуклид;
- РСА – рентгеноструктурный анализ;
- РФП – радиофармпрепарат;
- СВЧ – сверхвысокие частоты;
- УКЖИ – ультракороткоживущий изотоп;
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
- ЭМП – электромагнитное поле.

Содержание

Введение.....	12
1.1.2 Основные свойства и способы получения ^{11}C	14
1.2 Анализ борсодержащих материалов	19
1.2.1 Металлический бор	20
1.2.2 Карбид бора	20
1.2.3 Нитрид бора	22
2. Методика проведения эксперимента и оборудование	25
2.1 Экспериментальный стенд	25
2.2 Методы анализа	27
2.2.1 Микровзвешивание	27
2.2.2 Малоугловая рентгеновская дифрактометрия	28
2.2.3. Измерение шероховатости поверхности	33
2.2.4 Оптическая эмиссионная спектрометрия тлеющего разряда	37
3 Проведение эксперимента	40
3.1 Подготовка образцов	40
3.2 Определение режима облучения	41
3.3 Облучение образцов.....	44
3.4 Исследование поверхности на шероховатость	52
3.5 Проведение оптической эмиссионной спектрометрии	55
3.6 Проведение скретч теста	60
3.7 Проведение малоугловой рентгеновской дифрактометрии.....	67
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	69
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	69
4.2 Анализ конкурентных технических решений	70
4.3 SWOT-анализ.....	72
4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	74
4.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	76

4.6 Инициация проекта	77
4.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта	79
4.8 Бюджет научного исследования	83
4.9 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	86
5 Социальная ответственность	90
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	91
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на ПЭВМ	92
5.2.1 Организационные мероприятия	92
5.2.2 Технические мероприятия	92
5.3 Условия безопасной работы	95
5.4 Электробезопасность	98
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	99
5.6 радиационная безопасность	100
Заключение	105
Список публикаций	107
Список использованных источников	110
Приложение А	114
Приложение Б	127
Приложение В	128
Приложение Г	129
Приложение Д	130
Приложение Е	131
Приложение Ё	132
Приложение Ж	133

Введение

Производство изотопов – эффективная отрасль российской экономики. В середине 20 века были построены основные разделительные предприятия, которые выпускали стабильные и радиоактивные изотопы. Главными потребителями их продукции были предприятия военно-промышленного комплекса, а также медики, энергетики, металлурги; значительная часть производимых веществ шла на фундаментальные научные исследования.

На сегодняшний день спрос в медицинской отрасли не может быть удовлетворен полностью. Потому что более 70 % производимых в мире стабильных изотопов и более 50 % радиоактивных используется в медицинской отрасли. И эти цифры в будущем будут только расти, по прогнозам экспертов. Основным применением в медицине является применение в диагностических целях. Высокая эффективность применения изотопов в диагностике онкологических заболеваний обуславливает интерес медиков к ним. Доля изотопов, поступающая в медицинскую отрасль для диагностических целей, составляет практически 98 %.

Изотопная диагностика онкологических заболеваний имеет ряд преимуществ: высокая точность, надежность, возможность быстрого повторного применения. Все эти преимущества позволяют диагностировать онкологические заболевания на ранней стадии. Однако с помощью изотопных технологий можно не только диагностировать онкологические заболевания, но и другие болезни. Например, с помощью радионуклидов ^{201}Tl , ^{82}Rb можно получать изображение сердца, с помощью ^{99}Tc можно сканировать мозг, костные ткани и диагностировать болезнь Альцгеймера.

С помощью ультракороткоживущих ^{11}C , ^{13}N , ^{18}F можно определять динамику биохимических процессов во всем организме. Некоторые изотопы (^{103}Pd , ^{192}Ir) нашли применение для лечения раковых опухолей. Также, существуют анальгетики и стерилизаторы, основанные на применении изотопов.

Помимо производства изотопов в России все более активно идет производство радиофармпрепаратов на их основе, благодаря которым открывается все большее количество центров диагностики и лечения онкологических заболеваний. В данных центрах также имеется возможность использование радионуклидов стабильных изотопов, как в целях диагностики и терапии. Обычно производство РФП основывается на использовании УКЖИ, которые получают на циклотронах.

Целью данной работы является обоснование выбора мишени для синтеза УКЖИ ^{11}C при использовании мощных импульсных пучков легких ионов.

Для выполнения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Сравнительный анализ литературных источников по материалам мишени;
- Выбор материала мишени;
- Оперативный контроль процесса облучения;
- Исследование изменения физико-механических и химических свойств материала мишени под действием МИП.

1.1.2 Основные свойства и способы получения ^{11}C

^{11}C был впервые синтезирован в 1934 году. Позже в 1939 его применяли для изучения фотосинтеза в растениях. А в 1945 году были проведены первые эксперименты на эритроцитах человека. В таблице 1.1 приведены ядерно-физические свойства ^{11}C .

Таблица 1.1 – Ядерно-физические свойства ^{11}C

Нуклид	$T_{1/2}$	Тип распада	$E_{\beta^+}(\text{max})$	$R_{\beta^+}(\text{max})$ биоткань	A_{mol} , ТБк/нмоль $n \cdot 10^{21}$ Бк/моль
^{11}C	20,4 мин	β^+ (99,8%) ЕС (0,2%)	0,96 МэВ	4,1 мм	0,34

Основные реакции получения ^{11}C :

- $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$; интервал энергий: от 4 до 15 МэВ;
- $^{11}\text{B}(p,n)^{11}\text{C}$; интервал энергий: от 3 до 20 МэВ;
- $^{10}\text{B}(d,n)^{11}\text{C}$; интервал энергий: до 10 МэВ;
- $^{12}\text{C}(^3\text{He}, ^4\text{He})^{11}\text{C}$; интервал энергий: до 30 МэВ;
- $^{12}\text{C}(p,pn)^{11}\text{C}$; интервал энергий: от 4 до 45 МэВ.

Несмотря на обилие вариантов получения данного УКЖ РН, основной ядерно-химический способ получения разных химических форм углерода-11 в циклотронах это реакция $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$. Из-за небольшого периода полураспада важно сразу получить углерод-11 в нужной форме: окисленной или восстановленной. Поэтому в циклотронах облучают азот сразу с добавкой нужных веществ в мишень:

$^{11}\text{CO}_2$ - мишень N_2 содержит 1% O_2

$^{11}\text{CH}_4$ - мишень N_2 содержит 5% H_2

Порог реакции $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$ примерно 4 МэВ (Рисунок 1.2), а максимум сечения приблизительно 8 МэВ.

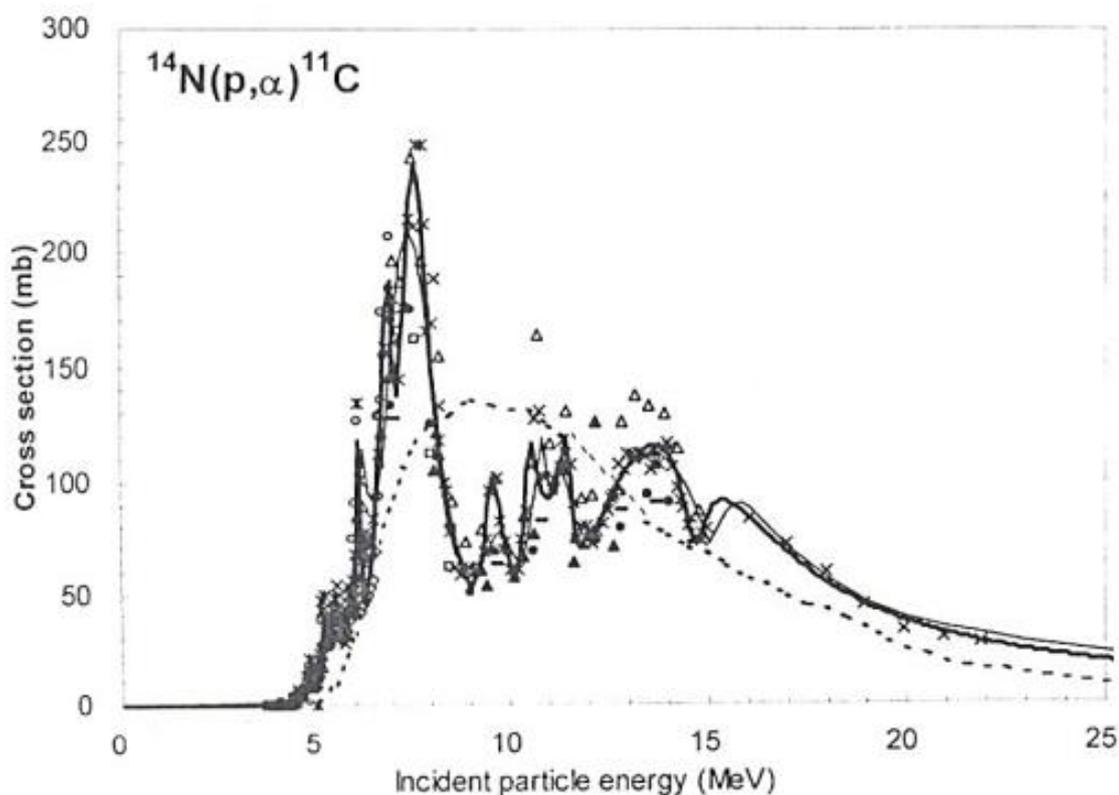


Рисунок 1.2 – Зависимость реакции $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$ от энергии протонов

В газовой мишени для производства углерода-11 пробег протонов большой, поэтому она имеет вид длинной трубы, в которой находится газ под давлением. Фольга на входе в мишень охлаждается гелием. Производительность газовой мишени зависит от конструкции мишени, объёма мишени, состава газа и давления в мишени. При прохождении пучка через газовую мишень протоны рассеиваются. Чтобы объём мишени использовался оптимально, трубу изготавливают с конусовидным расширением.

От материала, из которого сделаны стенки мишени, зависит радиоактивность образующегося ^{11}C . Время синтеза ^{11}C -радиотрейсеров не должно превышать три периода полураспада. А максимальный выход будет получен за 20 минут.

Рассмотрим один из самых популярных циклотронов для производства РФП в странах СНГ. В таблице 1.2 приведены некоторые параметры циклотрона Cyclone® KIUBE для наработки ^{11}C .

Таблица 1.2 – Параметры циклотрона Cyclone® KIUBE для наработки ^{11}C

Прекурсор для РФП	$^{11}\text{C}-\text{CO}_2$	$^{11}\text{C}-\text{CH}_4$
Химическая форма	CO_2	CH_4
Сырье мишени	$\text{N}_2+1\%\text{O}_2$	$\text{N}_2+5\%\text{H}_2$
Материал фольги	Алюминий	Алюминий
Материал реакционной колбы	Алюминий	Алюминий
Энергия пучка	18 МэВ	18 МэВ
Объем реакционной колбы, мл	30	30
Выход продукта, мКи/мкА	150	60
Активность на конец облучения, мКи/ГБк	4000/148	1000/37

Как видно из таблицы 1.2 материалом фольги для циклотрона является алюминий, который практически не влияет на радиоактивность.

В нашем случае использование фольги не представляется возможным. Фольгу порвет мощный импульсный пучок легких ионов, и вся газообразная мишень улетучится. Поэтому в данной работе рассматривается твердая мишень.

УКЖИ ^{11}C в основном применяется в ядерной диагностике, а именно в ПЭТ. Принцип позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) заключается в следующем: в организм пациента внутривенно вводится радиофармпрепарат – жидкость, содержащая радиоизотопы, излучение которых и регистрирует ПЭТ-сканер. Получаемое изображение позволяет судить о функционировании того или иного органа или ткани и выявить патологию еще на стадии поражения отдельных клеток, задолго до серьезного поражения органов и появления метастазов.

Гибридная технология – ПЭТ/КТ – сочетает в себе функциональную и анатомическую визуализацию, дает четкую картину работы функций организма и широко используется для онкологической визуализации и выявления воспалительных заболеваний, а также при некоторых неврологических, кардиологических обследованиях и при визуализации сосудов. Мировой опыт

показывает, что по результатам ПЭТ-сканирования план лечения меняется для 43,1 % пациентов.

Примечательно, что по воздействию на организм ПЭТ -обследование не вреднее, чем КТ, а возможная польза от ранней диагностики может равняться спасенной жизни.

Возможности ПЭТ/КТ-диагностики в значительной степени зависят от доступного арсенала радиофармпрепаратов: для исследования разных органов и диагностики разных заболеваний требуются различные соединения и радиоактивные метки. По уровню доступности ПЭТ/КТ-диагностики лидируют США, Япония, Германия, Бельгия, Франция, Испания. В России ПЭТ-центров единицы: что вызвано, с одной стороны, сложностью данного метода и, с другой, необходимостью создания для проведения исследований целой инфраструктуры. Долгое время ПЭТ/КТ-диагностика была доступна только в Москве и Санкт-Петербурге, относительно недавно стали появляться государственные ПЭТ-центры в регионах Сибири, Волги, Дальнего Востока, однако даже общего количества действующих ПЭТ-центров недостаточно для удовлетворения потребности населения в данной диагностике.

Использование изотопа углерода для создания РФП очень выгодно, так как этот элемент содержится во всех органических молекулах. ^{11}C и ^{18}F занимают ведущие позиции по применению в ядерной медицине.

Преимущества использования ^{11}C в качестве РФП:

— Возможность получения радиотрейсеров - "истинных" аналогов природных субстратов;

— Малый $T_{1/2} = 20,4$ мин., благодаря которому возникает малая дозовая нагрузка и как следствие появляется возможность проводить повторные ПЭТ исследования у одного пациента;

— Доступные материнские радионуклиды (^{14}N) и ядерная реакция с высоким сечением позволяет достаточно недорого получать большие радиоактивности ^{11}C в двух химических формах ($^{11}\text{CO}_2$ или $^{11}\text{CH}_4$) в газовой мишени циклотрона;

- Простая и надёжная технология наработки ^{11}C , минимальный сервис мишени, замена фольги: один раз в 10-20 лет;
- Возможность наработки большого числа РФП с помощью стандартных технологий метилирования и карбонилирования;
- Возможность выполнять различные синтезы на одном и том же модуле через короткие промежутки времени.

Существуют несколько способов введения метки УКЖИ. При изотопном введении метки ^{11}C замещает в молекуле стабильный $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$; биологическая активность молекулы при этом не меняется. При неизотопном введении метки в молекулу субстрата вводится функциональная группа, содержащая ^{11}C ; при этом образуется молекула другого соединения с отличными от исходных химических свойств и биологической активностью.

Изменение радиоактивности ^{11}C на этапах производства РФП:

1. Получение ^{11}C в мишени циклотрона активностью 1-3 Ки;
2. Радиохимический синтез, который должен занимать не более трех периодов полураспада;
3. Очистка;
4. Получение инъекционной формы активностью 0,06 - 0,6 Ки, которое занимает примерно 20 мин;
5. Проведение анализа препарата. Активность снижается до 0,03 - 0,3 Ки;
6. Инъекция пациенту.

Для получения качественного изображения пациенту нужно ввести 5-10 мКи.

Таким образом из-за того, что РФП необходимо синтезировать в течении трех периодов полураспада. Что вносит минимальное ограничение по активности, до которой необходимо облучать мишень.

1.2 Анализ борсодержащих материалов

Так как в данной работе рассматриваются реакции получения ^{11}C из бора, то необходимо рассмотреть бор как химический элемент. Бор — химический элемент 13-й группы, 2-го периода периодической системы химических элементов, который находится под пятым атомным номером. Представляет собой бесцветное, серое или красное кристаллическое либо тёмное аморфное вещество. На данный момент открыто более 10 аллотропных модификаций, взаимные переходы и образование которых зависят от температуры, при которой она была получена.

Природный состав бора образован двумя изотопами ^{10}B (19,8%) и ^{11}B (80,2%). ^{10}B обладает высоким сечением радиационного захвата для тепловых нейтронов, равное 3837 барн. При радиоактивном захвате нейтрона ^{10}B образуются два нерадиоактивных ядра (^4He и ^7Li), которые тормозятся в среде, причем при этом (в отличие от аналогичных реакций захвата нейтронов другими нуклидами) отсутствует излучение гамма-квантов.

Благодаря вышеописанным свойствам ^{10}B добавляют в борную кислоту и другие химические соединения, которые нашли свое применение для регулирования активности в атомных реакторах, а также для биологической защиты от тепловых нейтронов. Даже более того В используют в нейтрон-захватной терапии для лечения онкологических заболеваний.

Помимо природных (стабильных) изотопов бора, открыто еще 12 радиоактивных, из них самый долгоживущий это ^8B , который имеет период полураспада равный 0,77 с.

Далее рассмотрим в качестве мишеней борсодержащие вещества, которые обладают низкой эрозионной способностью. В качестве таких материалов можно использовать: металлический бор, карбид бора или нитрид бора.

1.2.1 Металлический бор

Больше всего по способности образовывать стабильные молекулярные сетки ковалентно связанные между собой, бор похож на углерод. Даже неупорядоченный (аморфный) бор содержит икосаэдрические мотивы B_{12} кристаллического бора, которые связаны друг с другом без образования дальнего порядка. Кристаллический бор представляет собой очень твёрдый материал черного цвета, обладающий высокой температурой плавления свыше $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кристаллический бор может образовать четыре основные полиморфные формы: α -ромбоэдрический и β -ромбоэдрический (α -R и β -R), γ и β -тетрагональный (β -T); существует и α -тетрагональная фаза (α -T), но имеются огромные трудности с ее получением в чистом виде. Большинство фаз основаны на икосаэдрических мотивах B_{12} , но γ -фазу можно описать как фазу типа NaCl с чередующимся расположением икосаэдров и атомных пар B_2 . γ -фазу можно получить путем сжатия других фаз бора до $12\text{ — }20$ ГПа и нагревания до $1500\text{—}1800\text{ }^{\circ}\text{C}$; она остаётся стабильной после понижения температуры и давления. T-фаза образуется при аналогичных давлениях, но при более высоких температурах ($1800\text{ — }2200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Что касается α и β фаз, то они могут сосуществовать при условиях окружающей среды, причем β -фаза является более стабильной. При сжатии бора выше 160 ГПа образуется фаза бора с неизвестной структурой, которая является сверхпроводящей при температуре $6\text{ — }12\text{ K}$.

1.2.2 Карбид бора

Карбид бора B_4C ($B_{12}C_3$) является соединением углерода и бора. Как вещество — это черные блестящие кристаллы, которые имеют плотность равную $2,52\text{ г/см}^3$. Он имеет высокую химическую стойкость по отношению к различным агрессивным средам. Также он с кислотами не взаимодействует, но в щелочной среде разлагается. Карбид бора высокоабразивный тугоплавкий материал, устойчив до температуры $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура плавления карбида бора составляет около 2450 °С. Плотность карбида бора линейно увеличивается с содержанием углерода в пределах области гомогенности фазы. Измеренная плотность для B_4C составляет 2,52 г/см³; для $B_{13}C_2$ – 2,49 г/см³; для $B_{10,4}C$ – 2,47 г/см³.

Коэффициент теплового расширения карбида бора составляет $\alpha = 5,73 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (300 – 1970 К). Карбид бора является одним из самых твердых материалов (третий после алмаза и кубического BN), значение его твердости $H_V \approx 35$ ГПа. Микротвердость карбида бора линейно увеличивается с содержанием углерода в области гомогенности фазы. В присутствии свободного углерода твердость карбида бора уменьшаются.

Только алмаз имеет большую твердость и прочность. Поэтому карбид бора уступает ему в абразивном сопротивлении; выраженное в произвольных единицах, абразивное сопротивление алмаза – 0,613, тогда как карбид бора имеет 0,4 – 0,422.

Модуль Юнга составляет 320-480 ГПа, модуль сдвига – 130 – 200 ГПа, значения модулей увеличиваются с увеличением содержания углерода.

Предел прочности карбида бора составляет 300-500 МПа. Коэффициент вязкости разрушения K_{IC} составляет 3,0 – 4,0 МПа·м^{1/2}.

Данное соединение является одним из самых инертных. Карбид бора не реагирует с минеральными кислотами и основаниями. Он реагирует с хлором и со многими металлами и их оксидами только при температурах выше 1000 °С, при этом образуются бориды и угарный газ.

При медленном окислении мелкодисперсных порошков карбида бора на влажном образуются B_2O_3 или H_3BO_3 . Окисление горячее прессованных образцов в кислороде начинается при 600 °С и приводит к образованию тонкой прозрачной пленки из B_2O_3 , выше 1200 °С происходит интенсивное окисление карбида бора.

Карбид бора – высокотемпературный полупроводник p-типа во всей области гомогенности, свойства которого заметно изменяются в зависимости не

только от содержания примесей, но и от способа получения, термической обработки и отклонения состава от стехиометрии.

1.2.3 Нитрид бора

Эльбор, боразон, кубониит, и др. — названия торговых марок твердых материалов нитрида бора с кубической решеткой, или как его называют кубического нитрида бора (в советском союзе применялось название — КНБ, зарубежом — cBN). По механическим свойствам (особенно твердости) приближается к алмазу (10 по шкале Мооса). Имеет химическую формулу — BN, в природе не существует аналога.

Цвет кубического нитрида бора лежит в широком диапазоне. Он может быть, как практически белый (бесцветный), так и чёрный. Кристаллы подобного вида марки ЛКВ60 и В5 синтезируются, например, в системе Li-B-N. Для КНБ торговой марки эльбор ЛКВ40, ЛКВ50, синтезированных в системе Mg-B-N, характерным является чёрно-коричневый цвет из-за избытка бора в кристаллической решётке.

КНБ самое близкое к алмазу по твердости. Твердость кубического нитрида бора в 3 – 4 раза превосходит традиционные абразивы. Это несомненно можно выделить самым важным его достоинством, так как позволяет уменьшить износ зёрен при шлифовании и длительное время сохраняет их остроту.

Другим важным свойством и преимуществом эльбора является температурная устойчивость: заметное окисление поверхности зёрен эльбора начинается с 1000 – 1200 °С, в отличие от 600 – 700 °С у алмаза. Такие температуры при шлифовании являются мгновенными и возникают только при очень жёстких режимах шлифования. Поэтому зёрна КНБ очень мало изнашиваются от термических нагрузок.

Также необходимо отметить высокую химическую стойкость нитрида бора. Она также является его преимуществом. BN пассивен по отношению к кислотам и щелочам. Он инертен практически ко всем химическим элементам,

которые входят в состав сталей и сплавов. Очень важно то, что нитрид бора инертен по отношению к железу, который является основным компонентом для всех сталей, тогда как алмаз хорошо растворяется в железе. Это приводит к интенсивному износу алмазных кругов при шлифовании сталей.

Нитрид бора, который имеет гексагональную решетку называется гексагональным нитридом бора (графитоподобная модификация). Он синтезируется при нагревании равных количеств бора и азота при температуре 1700 – 1800 °С и давлении 8 – 12 ГПа. Кубический нитрид бора можно получить из гексагонального путем нагрева под высоким давлением при добавлении различных растворителей-катализаторов.

Эльбор нашел свое применение в промышленности в шлифовальном инструменте при обработке различных сталей и сплавов. Эльбор как абразивный материал обладает следующими преимуществами:

- высокая режущая способность и стойкость кругов из-за длительного сохранения остроты зёрен;
- выдерживает высокие термические нагрузки, что позволяет интенсифицировать режимы шлифования;
- позволяет шлифовать сложнолегированные стали и сплавы без адгезионного и диффузного износа;
- круги на основе эльбора применяют при шлифовании деталей из различных сталей: подшипниковых, штамповых, инструментальных, сложнолегированных, азотированных и цементированных. Особенно эффективны эльборовые круги при шлифовании быстрорежущих сталей, содержащих вольфрам, ванадий, молибден, кобальт в виде соединений высокой твердости, в ряде случаев превосходящей твердость традиционного абразивного материала — электрокорунда.

Можно достичь значительного повышения производительности, точности и качества обработки поверхностей деталей при использовании шлифовальных кругов из эльбора вместо прочих абразивных материалов, среди которых и алмаз.

В ходе сравнительного анализа материалов мишени, было принято решение облучать нитрид бора. Нитрид бора по своим механическим свойствам имеет ряд преимуществ перед остальными материалами и относительно небольшую себестоимость. Карбид бора было решено исключить из-за того, что в нем содержатся атомы углерода, что при выделении в газообразную форму реакцией окисления может уменьшить удельную активность прекурсора для РФП.

2. Методика проведения эксперимента и оборудование

2.1 Экспериментальный стенд

Для наработки заданного УКЖИ использовались реакции $^{11}\text{B}(p,n)^{11}\text{C}$ и $^{10}\text{B}(d,n)^{11}\text{C}$ с мишенью из нитрида бора. Для достижения нужной энергии заряженных частиц применялось ускорение, создаваемое на ускорителе заряженных частиц «ТЕМП».

Экспериментальный стенд состоит из технологического ускорителя мощных импульсных ионных пучков «ТЕМП», источника питания катушек магнитного поля диода Люса и диагностического оборудования. Структурная схема ускорителя «ТЕМП» показана на рисунке 2.1.

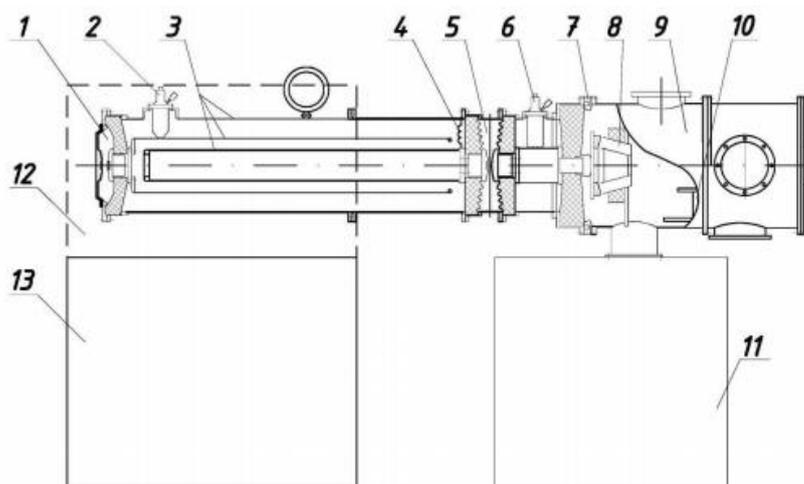


Рисунок 2.1 – Структурная схема ускорителя «ТЕМП» (одноимпульсный режим): 1 – основной газовый разрядник; 2, 6 – делители напряжения; 3 – двойная формирующая линия (ДФЛ); 4 – зарядная индуктивность; 5 – предварительный газовый разрядник; 7 – пояс Роговского; 8 – МИД с внешней магнитной изоляцией; 9 – вакуумная камера; 10 – мишенный узел; 11 – вакуумная система; 12 – ГИН Аркадьева-Маркса; 13 – системы газоподготовки и водоподготовки

Отличительной особенностью данного ускорителя является возможность формирования на ионном диоде униполярных импульсов напряжения

положительной полярности либо биполярных наносекундных импульсов напряжения. В режиме биполярных наносекундных импульсов напряжения первый отрицательный импульс напряжения служит для образования взрывоэмиссионной плазмы на поверхности потенциального электрода диода, второй импульс – положительный, является ускоряющим для ионов из образованной плазмы. В случае биполярных импульсов напряжения, пауза между ними формируется за счет задержки срабатывания основного разрядника относительно предварительного разрядника. Основные параметры ускорителя «ТЕМП» приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные параметры ускорителя «ТЕМП»

Параметр	Значение
Волновое сопротивление ДФЛ ρ , Ом	5
Частота следования импульсов, имп/с	0,1
Удельное сопротивление деионизованной воды, МОм·см	1÷10
Запасаемая энергия в ДФЛ, Дж	≤ 750
Униполярный режим	
Ускоряющее напряжение, кВ	≤ 250
Длительность импульса ускоряющего напряжения (на полувысоте), нс	100
Длительность фронта импульса ускоряющего напряжения, нс	25
Биполярный режим	
Импульс напряжения отрицательной полярности, кВ	150
Импульс напряжения положительной полярности, кВ	200
Длительность паузы между импульсами, нс	200÷700

2.2 Методы анализа

2.2.1 Микровзвешивание

Взвешивание — одна из наиболее частых операций, выполняемых в лаборатории. В данной работе микровзвешивание использовалось для определения массовых потерь при облучении и определения эрозионной стойкости. В таблице 3.2 представлены характеристики весов ВЛА 220-М, которые использовались для микровзвешивания. Полумикровесы серии ВЛА-М созданы с использованием новейших технологий в области весостроения, что позволило добиться высочайших результатов с точки зрения метрологических характеристик, стабильности и скорости отклика весов, не уступающих самым лучшим мировым образцам.

Весы данной серии, обладают выдающейся надежностью и широким функционалом, который позволяет удобным для оператора способом решать любую задачу, сопряженную с высокоточным взвешиванием.

Таблица 3.2 – Характеристика весов ВЛА 220-М

Калибровка	самокалибровка
Наименьший предел взвешивания, г	0,001
Пределы допускаемой погрешности в интервалах взвешивания при поверке, мг	от 0,001г до 50г вкл. $\pm 0,5$; св. 50г до 200г вкл. $\pm 1,0$; св. 200г до 220г вкл. $\pm 1,5$
Дискретность, г	0,00001/0,0001
Цена поверочного деления, мг	1
Класс точности согласно ГОСТ OIML R 76-1-2011	I специальный

2.2.2 Малоугловая рентгеновская дифрактометрия

Рентгеноструктурный анализ (РСА) является методом, который используют при проведении исследований структуры веществ и материалов по распределению в пространстве и интенсивностям рассеянного на анализируемом образце рентгеновского излучения. Вместе с нейтронографией и электронографией рентгеноструктурный анализ относится к дифракционным структурным методам. В основе данного вида анализов лежит взаимодействие рентгеновского излучения с электронами вещества, в результате которого происходит дифракция рентгеновских лучей. Дифракционная картина зависит от длины волны используемых рентгеновских лучей и внутреннего строения анализируемого объекта. При исследовании атомной структуры применяется $\lambda \sim 1 \text{ \AA}$. Методами рентгеноструктурных анализов можно изучать металлы, сплавы, минералы, неорганические и органические соединения, полимеры, аморфные материалы, жидкости и газы, молекулы белков, нуклеиновых кислот и т.д. В основном рентгеноструктурные анализы нашли применение в установлении атомной структуры кристаллических тел. Потому что кристаллы обладают строгой периодичностью строения и представляют собой созданную самой природой дифракционную решётку для рентгеновских лучей.

Однако методы рентгеноструктурного анализа можно использовать и для исследования образцов веществ и материалов с неупорядоченным распределением электронной плотности (растворы, гели, золи, порошки, пленки и др.).

Метод малоуглового рентгеновского рассеяния (МУРР). Малоугловое рентгеновское рассеяние также относится к методам рентгеноструктурных анализов диффузного типа. МУРР используют при исследования упорядоченных и неупорядоченных объектов. Такими объектами служат: порошки, пленки, растворы, гели и золи. Малоугловое рентгеновское рассеяние позволяет получить прямую информацию о структуре и взаимном распределении рассеивающих частиц в просвечиваемом слое образца. Это отличает данный

метод от других аналитических методов. В общем малоугловое рентгеновское рассеяние представляет собой результат взаимодействия рентгеновского излучения с электронами наночастиц вещества в образце. В области малых углов такое взаимодействие определяется неоднородностями электронной плотности ρ , размеры которых существенно превышают длину волны излучения. С точки зрения информативности и эффективности использования существенную роль играют: 1) длина волны (λ) используемого излучения; 2) степень поглощения излучения веществом образца; 3) абсолютный уровень интенсивности рассеянного излучения отдельной наночастицей; 4) используемый угловой диапазон в шкале так называемого обратного пространства h ($h = 4 \cdot \pi \cdot \sin(\theta)/\lambda$, 2θ – угол рассеяния).

При взаимодействии электромагнитных волн с электронами исследуемого вещества происходит возникновение сферических волн, суперпозиция которых представляет первое приближение к реальному рассеянию. Далее первичная волна рассеивается на всех центрах, давая совместно с первичным рассеянием вторичное приближение и т.д. При не очень сильном взаимодействии первичной волны с отдельными центрами последовательные приближения рассмотренного типа сходятся к некоторой результирующей волне, характеризуемой амплитудой и плотностью рассеяния. Вычисления этих приближений основаны на довольно громоздких интегральных преобразованиях, поэтому стараются ограничиться первым приближением, что допустимо при достаточно слабых взаимодействиях.

На рисунке 2.2 приведены типовые малоугловые рентгенограммы от образцов раствора, порошка и мембраны. Видно, что они существенно отличаются друг от друга. Методом малоуглового рентгеновского рассеяния исследуют вещества с самой разнообразной внутренней структурой: поли- и монокристаллы, сплавы металлов, поверхностные слои в полупроводниках, аморфные тела, жидкости, золи неорганических веществ, синтетические полимеры и растворы биологических макромолекул.

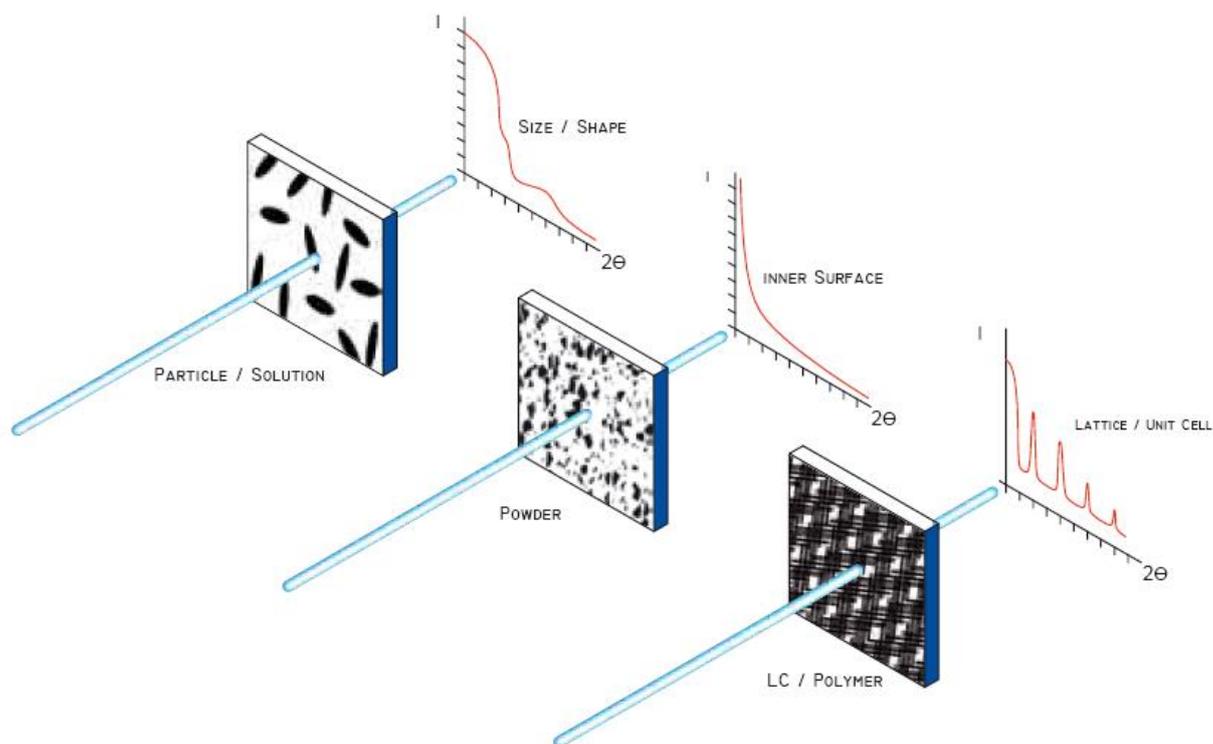


Рисунок 2.2 – Типы исследуемых образцов и дифрактограмм МУРР

Представление с помощью основной матрицы (например, однородного растворителя) и находящихся в ней наночастиц (вкраплений другой фазы плотности) является общей моделью дисперсной системы. При этом оказывается, что если все частицы в растворе одинаковы (монодисперсные системы), то интенсивность рассеяния пропорциональна усредненной по всем ориентациям интенсивности рассеяния одной частицей.

Вид дифракционной картины и возможности извлечения из нее структурной информации существенно зависят от наличия упорядоченности в структуре исследуемого объекта. В общем случае можно сказать, что чем ниже степень упорядоченности объекта, тем менее информативной будет картина дифракции на нем. Возможности малоуглового дифракционного эксперимента и методов анализа данных МУРР не позволяют восстанавливать атомную структуру объектов, поскольку особенности строения, размеры, характер взаимного расположения рассеивающих неоднородностей и статистические флуктуации плотности совершенно не требуют детального описания.

Изотропность же самих образцов приводит к тому, что интенсивность рассеяния $I(h)$, также становится изотропной, т. е. зависит только от абсолютной величины вектора рассеяния h . Поэтому в целом, разумеется, возможности малоугловой дифрактометрии таких систем существенно ограничены, однако при определенных условиях (например, в двухфазных монодисперсных системах) также возможен достаточно детальный анализ их структуры. Таким образом, при понижении упорядоченности в структуре исследуемых объектов уменьшаются возможности структурной интерпретации малоугловой дифракционной картины. Пространственное разрешение, которого можно добиться при исследовании объектов с низкой упорядоченностью, также существенно хуже, чем размеры атомов и межатомные расстояния. Поэтому, если при исследовании кристаллов требуется получить как можно более широкое дифракционное поле, то, изучая неупорядоченные дисперсные наносистемы, во многих случаях можно ограничиться областью достаточно малых векторов рассеяния, т.е. центральной (малоугловой) частью дифракционной картины. Отсюда и возник метод малоуглового рассеяния, который служит для изучения неоднородностей с размерами, существенно превышающими межатомные расстояния в разного рода дисперсных системах.

При исследовании неупорядоченных объектов в малоугловом дифракционном эксперименте измеряется некоторая усредненная интенсивность рассеяния, которая является функцией макроскопического состояния системы. В центральной части кривых рассеяния разупорядоченными объектами присутствует пик, определяемый формой облученного объема образца. то же самое имеет место и для упорядоченных объектов, так, например, для поликристаллов происходит уширение всех рефлексов, включая нулевой, зависит от размеров кристаллитов. эти пики в центральной части дифракционной картины, однако, трудно регистрировать, так как вследствие макроскопических размеров образцов они находятся в угловой области, которая подавляется первичным пучком. интенсивность рассеяния неупорядоченной системой в значительной степени зависит от формфактора рассеивающих неоднородностей

(мотивов, частиц, ячеек). рассмотрим случай, когда размеры рассеивающих неоднородностей, будучи достаточно малыми в макроскопической шкале, существенно превышают длину волны излучения. для получения достаточно полной информации об этих неоднородностях необходимо регистрировать дифракционную картину рассеяния примерно до $h \approx 2\pi/d$, где d - их характерный размер. таким образом, регистрация центральной части дифракционной картины («малоуглового рассеяния») представляет собой метод исследования их внутренней структуры. наиболее успешно метод муэрр применяется к следующим классам объектов:

— Биологически активные соединения. С помощью малоуглового рассеяния изучается строение биологических макромолекул и их комплексов (белков, нуклеиновых кислот, вирусов, мембран и др.). При этом удается исследовать строение частиц в водно-солевых растворах, т. е. в условиях, приближенных к условиям их функционирования;

— Полимерные соединения. Малоугловым рассеянием исследуются особенности укладки и общие характеристики натуральных и синтетических полимеров как в растворах, так и в твердом состоянии;

— Жидкости и аморфные тела. Применение малоуглового рассеяния дает возможность анализа термодинамических характеристик и кластерной структуры жидкостей, флуктуации плотности и разделения фаз в стеклах и других аморфных телах;

— Поликристаллические и пористые вещества, сплавы, порошки. Малоугловое рассеяние позволяет исследовать различные характеристики дисперсной структуры твердых тел — зоны Гинье-Престона в сплавах, пределы растворимости в твердых растворах, размеры наночастиц в порошках, пор в пористых веществах, кристаллитов в поликристаллах, дефекты в металлах, особенности магнитных систем.

Таким образом, с помощью метода малоугловой дифрактометрии удается определять самые разнообразные характеристики дисперсных систем. Отметим при этом два важных обстоятельства. Во-первых, поскольку неоднородности

атомного масштаба не сказываются на функции рассеяния в ее малоугловой части, метод позволяет определять дисперсные структуры как бы вне зависимости от составляющего их вещества. Во-вторых, в большинстве случаев каждый из этих объектов можно представить, как некоторую матрицу (растворитель, основная твердая фаза, газовое окружение), в которую погружены те или иные неоднородности (макромолекулы, поры, дефекты). Однако на примере анализа жидкостей и аморфных тел, малоугловое рассеяние применимо и к объектам, в которых не удастся выделить отдельные частицы. В принципе с его помощью можно изучать любые системы, в которых характерные размеры неоднородностей лежат в указанном выше диапазоне $10^1 \div 10^4$ А ($10 \div 10^3$ нм).

2.2.3. Измерение шероховатости поверхности

Одним из наиболее важных показателей качества продукции, работающей с большим износом являются параметры шероховатости поверхности. Шероховатость — это одна из наиболее важных эксплуатационных характеристик движущихся механизмов. От нее зависят такие параметры как коэффициент трения, коррозионная стойкость, износостойкость, и другие механические характеристики изделий.

На поверхностях рабочих деталей непрерывно идут процессы, оказывающие на них негативное влияние. К этим процессам можно отнести: растрескивание, механический износ, из-за трения, эрозия, коррозия металла, смятие, появление заусенцев. Все вышеперечисленные факторы могут оказывать даже большее негативное влияние на работу всего механизма, чем деформация тел, в результате перегрева или гидроудара.

Можно повысить сопротивляемость детали различным внешним воздействиям, если придать поверхности некоторые однородные микрогеометрические свойства. Например, выравнивание уровня шероховатости.

Значения параметров поверхности детали, которые смогли бы обеспечить хорошие эксплуатационные характеристики, можно повысить путём проведения шлифовки поверхности этих деталей. Измеряют качество или уровень шероховатости для отшлифованной поверхности детали на приборах, измеряющих шероховатость: профилометре и профилографе.

Разница в техническом устройстве и принципе действия у данных приборов невелика. Отличие заключается только в способе предоставления результатов. Профилометр отображает значения измеряемого параметра шероховатости на встроенном дисплее или шкале. Профилограф представляет результаты измерений в конце всей процедуры в виде графика. Данные графики называют профилограммами. Они представляют собой кривую линию, отражающую профиль поверхности детали. Каждая профилограмма анализируется и расшифровывается оператором.

Таким образом профилометр представляет собой прибор, который предназначается для измерения шероховатости при контактном методе. Это означает, что по исследуемой поверхности перемещается специальная алмазная игла, колеблющаяся от неровностей поверхности. Такие колебания иглы передаются на датчик, где преобразуются в малые электрические токи, которые, в свою очередь, усиливаются гальванометром и регистрируются. Снятые иглой показания выводятся на дисплей прибора и дают представление о характере неровностей исследуемой поверхности.

Как и в любом измерительном устройстве, у профилометра должен быть объект измерения, измерительный источник сигналов (генератор сигналов), блок обработки сигналов и блок вывода результатов измерений. Объектом, в данном случае, является поверхность, шероховатость которой необходимо измерить. В качестве генератора сигналов, используется тонко заточенная игла, чаще всего - алмазная, но встречаются профилометры с иглами из твердых сплавов. Игла перемещается вдоль поверхности, перпендикулярно её плоскости, при этом, на шероховатой поверхности, неизбежно, возникают колебания иглы. Такие механические колебания являются первичным сигналом, который при помощи

преобразователя - индуктивного, ёмкостного или пьезоэлектрического - преобразуется в токовый. После этого, электрический сигнал поступает на электронный усилитель, после чего интегрируется и визуализируется. Таким образом, на дисплее можно увидеть уже усредненный параметр, характеризующий не только количественные, но и качественные показатели неровности и шероховатости поверхности.

Профилометры принято различать в зависимости от вида трассы интегрирования. Обычно разделяют на следующие приборы:

— Профилометр с постоянной трассой интегрирования, трасса ощупывания в которых, равна, по длине, трассе интегрирования. Таким образом, результаты измерений можно увидеть только в конце, при завершении процедуры;

— Профилометр, обладающий скользящей трассой интегрирования, в котором трасса ощупывания в несколько раз длиннее трассы интегрирования. Таким образом, отсчет показаний и результатов измерения производится одновременно с перемещением иглы по поверхности/

Помимо вышеперечисленных профилометров существуют с механотронными преобразователями, которые измеряют параметры неровностей, указывая среднее арифметическое значение отклонения профиля.

Профилограф — это прибор, который, идентично профилометру, предназначается для измерения шероховатости поверхностей, но, данный прибор имеет от него отличия в виде вывода измеренной информации. Полученные результаты измерений представляются в виде кривой — профилограммы, отражающей волнистость и шероховатость.

Конструктивно, профилограф состоит из нескольких блоков: измерительного, преобразовательного и записывающего.

Первый блок принято называть измерительным. В данном блоке получают сигнал, на основании которого строится кривая профилограммы. Данный блок состоит, как правило, из иглы, привода иглы и измерительного столика.

Следующий блок представляет собой электронный преобразователь, в котором сигнал из первого блока усиливается и преобразуется при помощи специальных электронных преобразователей.

Третий блок – записывающий. На него поступает обработанный сигнал со второго блока. Обработанный сигнал, при помощи записывающего устройства, аналогового или электронного, преобразуется в профилограмму в увеличенном масштабе. В качестве материала для изображения кривой профилограммы можно использовать металлизированную бумагу, светочувствительную бумагу или специальную пленку.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что принцип действия профилографа, практически не отличим от принципа действия профилометра, единственным отличием выступает отображение результатов не на экране в виде числовых значений, а на графической кривой.

Помимо перечисленных устройств: профилометров и профилографов, существуют комбинированные приборы, называемые профилографы-профилометры.

Профилограф-профилометр — это комбинированный прибор, который предназначен для записи измеряемых параметров шероховатости исследуемой поверхности на бумажный носитель и одновременного наблюдения, в режиме реального времени, за результатами проводимых измерений при помощи дисплея.

Принцип работы профилографа-профилометра идентичен принципам работы приборов, описанных выше. Также, как и профилометр и профилограф, он проводит исследования с помощью ощупывания исследуемой поверхности алмазной иглой с малым радиусом закругления и преобразовании колебаний от иглы в электрический сигнал, а также последующего мониторинга и записи результатов.

Чтобы исследовать поверхность образцов из нитрида бора на шероховатость в данной работе использовался профилометр под названием Surfctest SJ-210. Профилометр Surfctest SJ-210 – это базовый прибор для измерения

шероховатости от японского производителя Mitutoyo Corporation. Приборы серии SJ-210 используются для быстрого и точного измерения шероховатости плоских поверхностей. Погрешность измерений находится в пределах 5%. В качестве щупа используется алмазный наконечник радиусом 2 мкм. Расстояние, на которое перемещается щуп, было выбрано равным 0,5 см.

2.2.4 Оптическая эмиссионная спектрометрия тлеющего разряда

Оптическая спектрометрия с тлеющим разрядом — относится к аналитическим методам определения элементного состава образца. При проведении данного анализа можно провести послойное исследование элементного состава облученной части образца.

В результате возникновения тлеющего разряда в полости анода газоразрядной лампы происходит атомизация образца в источнике. Этот источник был назван в честь ее изобретателя лампой Гримма. Анализируемый образец в лампе Гримма становится катодом. Ионы рабочего газа из плазмы тлеющего разряда, ускоряясь электрическим полем, падают с большой энергией на поверхность образца и выбивают из нее атомы. Катодное распыление как способ атомизации пробы обладает рядом особенностей, что делает применение метода весьма перспективным в ряде областей науки и техники для анализа различных покрытий и материалов высоких технологий.

Для проведения анализов образцов из нитрида бора был использован спектрометр тлеющего разряда Profiler 2. Источник тлеющего разряда, используемый в спектрометрах серии Profiler, обладает геометрией, которая ненамного отличается от первоначального устройства В. Гримма. На рисунке 2.3 представлена схема прибора.

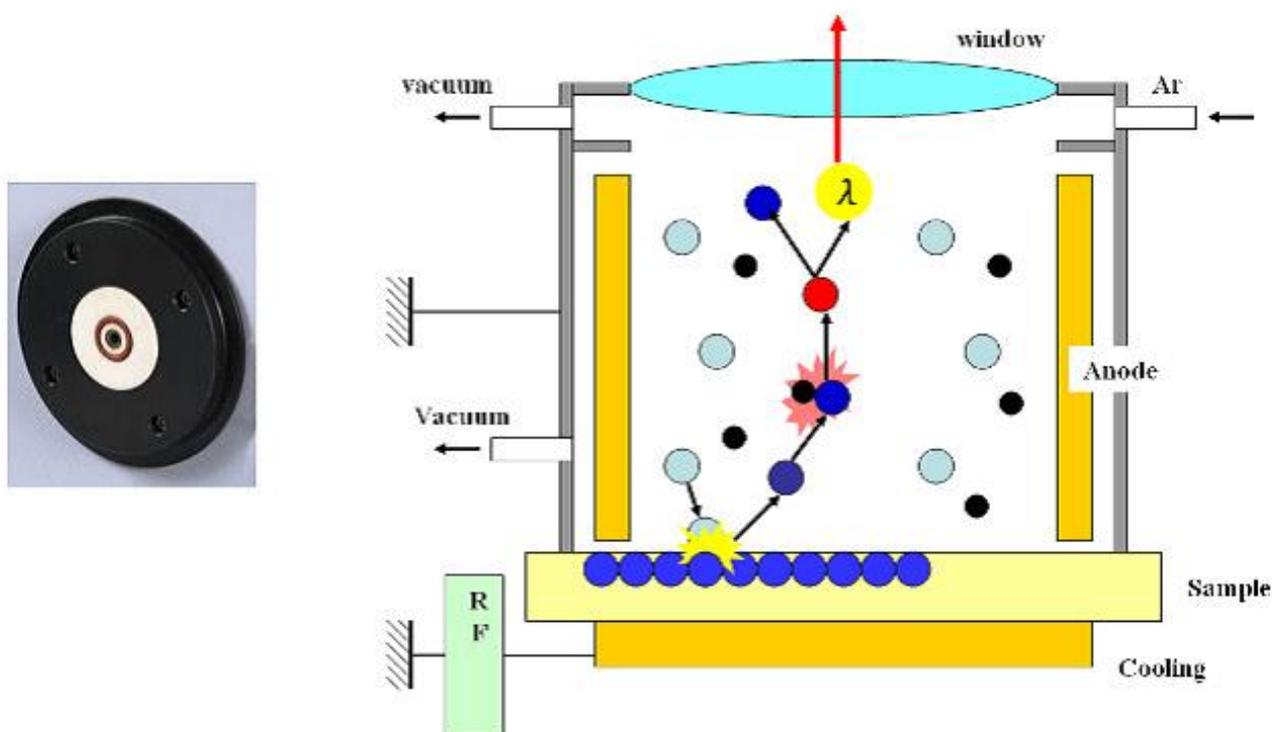


Рисунок 2.3 – Схема прибора GD Profiler 2

Анодом данного прибора является медная трубка диаметром 4 мм. Исследуемый образец располагается перед анодом. Он отделяется от анода керамикой с кольцевым уплотнением. Таким образом исследуемые пластины из нитрида бора представляют собой катод. Пространство внутри анода и из полости между образцом и керамикой вакуумируется, после чего в трубку поступает аргон. Под воздействием электрического поля ионы аргона ускоряются к образцу, обладая достаточной энергией для распыления поверхности образца. Распыленные частицы, в свою очередь, поступают в плазму и возбуждаются через соударения. Возникающая оптическая эмиссия характеризует элементный состав образца. Регистрация спектра осуществляется на оптическом спектрометре.

Для поддержания плазмы тлеющего разряда в спектрометре Profiler-2 используется радиочастотный генератор. Генератор работает на частоте 13,56 МГц и может функционировать в импульсном режиме, что дает возможность анализировать хрупкие и низкотеплопроводные образцы. Геометрия источника тлеющего разряда гарантирует, что распыляться будет только образец. Глубина

распыления зависит от типа образцов и, как правило, лежит в диапазоне от нескольких нм до 150-200 мкм.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Цель дипломной работы: обоснование выбора мишени для синтеза УКЖИ ^{11}C при использовании мощных импульсных пучков легких ионов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по разработке технологии синтеза УКЖИ.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
- 2) Провести анализ конкурентных технических решений.
- 3) Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
- 4) Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
- 5) Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта.
- 6) Рассчитать бюджет научного исследования.
- 7) Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно отнести ПЭТ-центры, центры ядерной диагностики и хирургии, основная цель которых, это использование РФП на основе УКЖИ ^{11}C для позитронной диагностики пациентов.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования ультракороткоживущих изотопов. Результаты сегментирования представлены в рисунке 4.1.

		Синтез УКЖИ ^{11}C			
		Центр ядерной диагностики и хирургии	ПЭТ-центр	Научная отрасль	Агро промышленность
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию ультракороткоживущих изотопов

Из анализа карты можно сделать вывод, что наибольшую потребность в данных изотопах испытывают отрасли, связанные с ядерной медициной и наукой. К сожалению, использование УКЖИ в агропромышленных целях не получило должного развития. На данный момент диагностические центры испытывают нехватку УКЖИ для производства РФП, поэтому необходимы исследования, связанные с их синтезом. С учетом роста количества онкологических заболеваний потребность в ближайшее время будет только расти.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в разрабатываемый объект. Чтобы выявить ресурсоэффективность разработки и определить направления для ее будущего повышения, необходимо провести анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты,

которая приведена в таблице 4.1. В таблице представлены следующие показатели конкурентоспособности: разрабатываемый метод получения прекурсора для РФП из УКЖИ ^{11}C при использовании коллективно ускоренного ионного пучка легких ионов высокой импульсной мощности (Φ), циклотронный метод получения прекурсора в виде $^{11}\text{C-CO}_2$ (κ_1), циклотронный метод получения прекурсора в виде $^{11}\text{C-CH}_4$ (κ_2). Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – слабая позиция, а 5 – сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспо-собность		
		Б Φ	Б κ_1	Б κ_2	К Φ	К κ_1	К κ_2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда	0,25	5	5	2	0,75	0,75	0,50
2.Удобство в эксплуатации	0,12	5	5	2	0,60	0,60	0,24
3. Энергоэкономичность	0,10	4	4	3	0,40	0,40	0,30
4. Надежность	0,12	3	3	5	0,36	0,36	0,60
5.Простота эксплуатации	0,14	5	5	2	0,70	0,70	0,28
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	2	0,35	0,28	0,14
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	2	5	0,21	0,14	0,35
3. Цена	0,08	5	4	3	0,40	0,32	0,24

4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
Итого	1	38	35	29	3,92	3,70	2,90

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot V_i, \quad (4.2.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$k_K = \frac{K_{\Phi}}{K_{\text{ксп}}} = \frac{3,92}{(3,70 + 2,90) / 2} = 1,19. \quad (4.2.2)$$

Так как $k_K > 1$, следовательно, предложенный способ синтеза прекурсора для РФП конкурентоспособен. Нарботка ^{11}C с помощью циклотронов на данном этапе развития техники является единственным промышленным способом его синтеза. Результаты данной магистерской работы могут быть использованы для отработки новой технологии синтеза УКЖИ с помощью коллективно ускоренных ионных пучков.

4.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой сводную таблицу, иллюстрирующую связь между внутренними и внешними факторами компании. Целью данного анализа является описание сильных и слабых сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

В таблице 4.2 приведена матрица SWOT-анализа для синтеза ^{11}C с помощью коллективно ускоренного ионного пучка легких ионов высокой

импульсной мощности на основе котировок циклотронных методов получения УКЖИ.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Предварительное моделирование.</p> <p>С2. Высокая степень поддержки государством С3. Высокая ресурсоэффективность</p>	<p>Сл1. Затраты на отработку технологии.</p> <p>Сл2. Сложность транспортировки продукции.</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Использование различных материалов мишени.</p> <p>В2. Рост спроса со стороны центров ядерной медицины.</p>	<p>В1С1 Синтез разнообразных УКЖИ для ядерной диагностики.</p> <p>В1С3 Использование практически всего объема твердой мишени.</p> <p>В2С2 Обеспечение прекурсорами для РФП государственных лечебных центров.</p>	<p>В2Сл1 Необходимость отработки технологии для получения государственного сертификата качества.</p> <p>В1Сл2 Малый период полураспада УКЖИ, что ограничивает время приготовления РФП.</p>
<p>Угрозы</p> <p>У1. Усовершенствования конкурентных технических решений.</p> <p>У2. Повышенные требования к безопасности при транспортировке.</p>	<p>У1С1 Возможность оптимизации циклотронной технологии синтеза УКЖИ.</p> <p>У2С2 Привлечение дополнительного финансирования со стороны государства на оборудование транспортно-упаковочных комплексов.</p>	<p>У1Сл1 Финансирование технологий отработанных на протяжении десятков лет.</p> <p>У2Сл2 Совмещение центров ядерной диагностики и циклотронных установок, что позволяет создавать РФП при присутствии пациента.</p>

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными в сложившейся ситуации являются следующие стратегии:

1. Необходимо отрабатывать проектируемую технологию синтеза УКЖИ для прохождения государственной аккредитации;

2. Необходимо обеспечить безопасность транспортировки изотопов до центров ядерной диагностики.

4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Далее была проведена оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня собственных знаний для ее проведения. Для этого была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенций разработчика научного проекта. Форма представлена в таблице 5.3

Таблица 4.3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	5
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	5
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	5
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	42	57

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию

и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (4.4.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации данного НТИ находится на среднем уровне. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

4.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

— Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

— Передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

— Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.

— Франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

— Организация собственного предприятия.

— Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

— Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

— Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как торговля патентными лицензиями. Так как лицензиар не вкладывает собственных средств в производство, следовательно, не несет расходов по сбыту и т.д. Поскольку НТИ проводится по гранту госкорпорации РОСАТОМ, то такая технология синтеза может быть передана третьим лицам (центрам ядерной диагностики) с последующим правом его использования с учетом интересов лицензиата. Как правило, лицензиатом выступает госкорпорация РОСАТОМ, заинтересованная в получении более быстрого и менее затратного способа синтеза УКЖИ для РФП.

4.6 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1) Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Частные инвесторы	Уменьшение себестоимости позитронно-эмиссионной томографии
РОСАТОМ	Разработка импортозамещающего способа получения УКЖИ.

В таблице 4.5 представлена информация об иерархии целей проекта и критерия достижения целей.

Таблица 4.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Синтез УКЖИ ^{11}C с помощью коллективно ускоренного ионного пучка легких ионов высокой импульсной мощности
Ожидаемые результаты проекта:	Получение более дешевого способа синтеза прекурсора для РФП
Критерии приемки результата проекта:	Наработанная активность мишени
Требования к результату проекта:	Требование:
	Отсутствие абляции мишени
	Достаточная активность для изготовления РФП

2) Организационная структура проекта.

Далее определены участники рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, Основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Колесников Е.В., ТПУ, магистр	Исследование синтеза УКЖИ ¹¹ C	Основной разработчик проекта	584
2	Видяев Д.Г., ТПУ, профессор	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	432
ИТОГО:				1016

3) Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Данная информация представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	312043,9 рублей
3.1.1. Источник финансирования	НИ ТПУ, РОСАТОМ
3.2. Сроки проекта:	3 месяца
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	25.02.2021
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2021

Таким образом, установлены цели и результаты проекта, рассмотрена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта.

4.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках

проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И, НР
	3	Изучение материалов по теме синтеза УКЖИ	И
Выбор направления исследований	4	Анализ литературных источников по материалам мишени	И
	5	Выбор методов анализа облученной мишени	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение облучения мишени из нитрида бора	И, НР
	7	Анализ полученных результатов	И, НР
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта был построен календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Календарный план проекта

Код работ	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	1	25.02.2021	26.02.2021	Колесников Е.В. Видяев Д.Г.
2	Календарное планирование работ по теме	3	1.03.2021	3.03.2021	Колесников Е.В. Видяев Д.Г.
3	Изучение материалов по теме синтеза УКЖИ	9	4.03.2021	12.03.2021	Колесников Е.В.
4	Анализ литературных источников по материалам мишени	10	15.03.2021	24.03.2021	Колесников Е.В.
5	Выбор методов анализа облученной мишени	5	25.03.2021	29.03.2021	Колесников Е.В. Видяев Д.Г.
6	Проведение облучения мишени из нитрида бора	25	30.03.2021	23.04.2021	Колесников Е.В. Видяев Д.Г.
7	Анализ полученных результатов	30	26.04.2021	25.05.2021	Колесников Е.В. Видяев Д.Г.
8	Составление отчета по работе	6	26.05.2021	31.05.2021	Колесников Е.В.
ИТОГО:		89			

Диаграмма Гантта – тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 4.10 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения работ

Код работ ы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, инженер	1			■									
2	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	3			■									
3	Изучение материалов по теме синтеза УКЖИ	Инженер	9				■	■	■						
4	Анализ литературных источников по материалам мишени	Инженер	10				■	■	■						
5	Выбор методов анализа облученной мишени	Научный руководитель, инженер	5						■						
6	Проведение облучения мишени из нитрида бора	Научный руководитель, инженер	25						■	■	■	■			
7	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, инженер	30										■	■	■
8	Составление отчета по работе	Инженер	6												■

■ – инженер, ■ – научный руководитель.

Таким образом, был построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

4.8 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отразим стоимости всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, на доставку. Эти данные представлены в таблице 4.11

Таблица 4.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага, формат А4	Пачка	1	295	295
Картридж для принтера	Шт	1	2650	2650
Программное обеспечение Windows	Шт	1	13000	13000
Пластина BN	Шт	2	2568	5136
Итого:				21081

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.8.1)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.8.2)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 10,4;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.8.3)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

В таблице 4.12 приведен баланс рабочего времени для данного НТИ.

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	118	118
– выходные дни		
– праздничные дни		
Потери рабочего времени:	48	48
– отпуск		
– невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_{\text{м}} = 38050 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 64304,5 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{56277 \cdot 10,4}{247} = 2707,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2331,8 \cdot 54 = 146208,1 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для инженера:

$$Z_{\text{м}} = 14874,45 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 25137,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{25137,82 \cdot 10,4}{247} = 1058,4 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1058,43 \cdot 73 = 77265,7 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблицу 4.13.

Таблица 4.13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	38050	0,3	1,3	64304,5	2707,6	54	146208,1
Инженер	14874,45	0,3	1,3	25137,8	1058,43	73	77265,7
Итого:							223473,8

Отразим обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (4.8.4)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведем в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Научный руководитель	146208,1
Инженер	77265,7
Коэффициент отчислений	0,302

Итого:	67489,1
--------	---------

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 4.15.

Таблица 4.15 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	21081
Основная заработная плата	223473,8
Отчисления во внебюджетные фонды	67489,1
Бюджет затрат:	312043,9

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). Бюджет затрат составил 305116,3 рублей.

4.9 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.9.1)$$

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.9.2)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	2
3. Помехоустойчивость	0,2	3	3
4. Энергосбережение	0,25	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,1	5	4
Итого:	1	25	21

$$I_{тп} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 = 4,15$$

$$I_{аналог} = 4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 = 3,6$$

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

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр}} \quad (4.9.3)$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (4.9.4)$$

Сравнительная эффективность разработки приведена в таблицу 4.17.

Таблица 4.17 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,15	3,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,15	3,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,153	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разрабатываемый способ синтеза УКЖИ является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом, основываясь на показателях эффективности.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1) Потенциальными потребителями результатов исследования являются центры ядерной диагностики. Сегментирование рынка осуществляется по следующему критерию: потребность в результате НТИ.

2) В результате проведения анализа конкурентных технических решений сделан вывод о том, что разрабатываемый метод синтеза УКЖИ ^{11}C для прекурсора РФП является наиболее предпочтительным, чем циклотронные методы получения.

3) Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. Сильными сторонами НТИ являются: предварительное моделирование и высокая степень поддержки государством. Возможности: использование различных материалов в качестве мишени и рост спроса со стороны центров ядерной диагностики. По итогам выполнения SWOT-анализа выбраны наиболее эффективные стратегии.

4) Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала средний уровень, который можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта.

5) В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

6) При планировании бюджета рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды. Бюджет затрат составил 312043,9 рублей.

7) Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

5 Социальная ответственность

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

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

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

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

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

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы ГОСТ 12.03.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа на ПЭВМ, Отделение ЯТЦ НИ ТПУ	Воздействие ВЧ, УВЧ, СВЧ и так далее	—	СанПиН 1.2.3685-21
	—	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	—	Пожарная безопасность	Пожарная безопасность. Общие требования. ГОСТ 12.1.004-91

На студента, работающего на компьютере, воздействуют следующие факторы:

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

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

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

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа непосредственно на рабочем месте ответственным лицом.

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

Лица, обслуживающие электроустановки не должны иметь увечий и болезней, мешающих производственной работе. Состояние здоровья устанавливается медицинским освидетельствованием перед устройством на работу.

5.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 5.1.

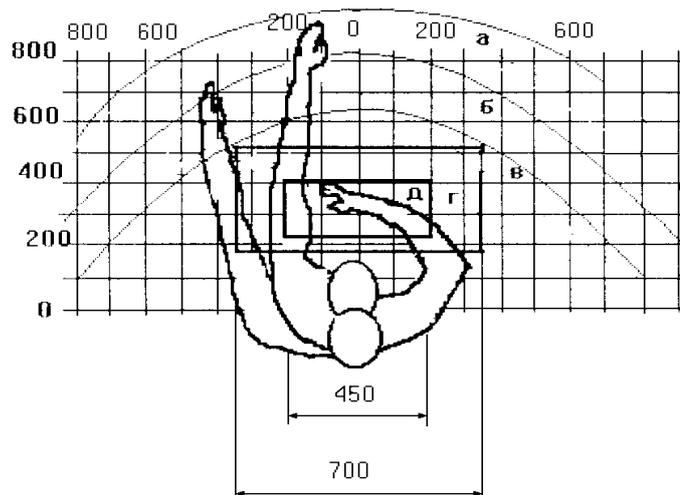


Рисунок 5.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:

- 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:

- дисплей размещается в зоне а (в центре);
- клавиатура – в зоне г/д;
- системный блок размещается в зоне б (слева);
- принтер находится в зоне а (справа);
- документация: в зоне в (слева), легкой досягаемости ладони находится литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680 - 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног

высотой не менее 600 мм, шириной не менее 500 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм.

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

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

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности,

рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.3 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03. приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой

центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20 - 25°C, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБ.

При работе с компьютером использовался монитор, дисплей модуль, которого изготовлен из жидкокристаллической матрицы.

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

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

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

5.4 Электробезопасность

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

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

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

5.5 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. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

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

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

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

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

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

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий несгораемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.
- При возникновении аварийной ситуации необходимо:
- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

5.6 радиационная безопасность

Главная цель радиационной безопасности – охрана здоровья людей от вредного воздействия ионизирующего излучения путем соблюдения основных принципов и норм радиационной безопасности.

Главным документом по радиационной безопасности при организации работ с источниками ионизирующих излучений является «Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений».

К источникам ионизирующего излучения (ИИИ) относятся любые вещества или объекты, в том числе устройства, которые испускают или при определенных условиях способны испускать ионизирующее излучение. ИИИ классифицируются по происхождению как природные и искусственные (техногенные). Ускоритель заряженных частиц ТЕМП и полученные путем облучения вещества являются техногенными ИИИ.

В работе использовались устройства ускорителя ТЕМП-4 способные испускать ионизирующее излучение и облученные объекты.

Открытые источники ионизирующего излучения – радионуклидные ИИ, при применении которых есть вероятность поступления радиоактивных веществ (содержащихся в них) в окружающую среду. При работе с открытыми ИИИ возможно загрязнение окружающей среды, а человек подвергается внутреннему и внешнему облучению.

Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить торможение функции кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям и др. В случае повреждения герметичной оболочки радионуклида необходимо принять защитные меры, которые должны предотвращать радиоактивное загрязнение воздуха, поверхности рабочих помещений, кожи и одежды персонала.

Существуют допустимые уровни доз, которые может получить человек при работе с источниками ионизирующего излучения. Уровни разделяются в соответствии с категорией по нормам радиационной безопасности.

Персонал (группа А) – лица, работающие с техногенными источниками, ионизирующим излучением, или находящиеся по условиям работы в сфере их

воздействия (группа Б). Население – все лица, включая персонал вне работы. Пределы допустимых доз для персонала группы А и населения приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Пределы допустимых доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза загод:	150 мЗв	15 мЗв
В хрусталике	500 мЗв	50 мЗв
В коже	500 мЗв	50 мЗв
В кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Пределы доз и допустимые уровни для персонала группы Б равны $\frac{1}{4}$ от группы А.

Для обеспечения условий, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого, с учетом достигнутого уровня в радиационной безопасности дополнительно устанавливаются контрольные уровни некоторых радиационных факторов. В таблице 5.4 представлены контрольные уровни установленные для персонала группы А.

Таблица 5.4 – контрольные уровни

Контролируемая величина	Разрешенные	
	Предельно-допустимые значения	Контрольные уровни

ДПП (среднегодовая допустимая плотность потока нейтронов при внешнем облучении всего тела), н/см ² с	(НРБ 99/2009)		
	Тепловых	990	400
	Промежуточных	580-250	250
Быстрых	14-9,5	9	
ПД (предел эффективной индивидуальной дозы), мкЗв/год	20000 (НРБ 99/2009)	15000	
ДМД (допустимая мощность эквивалентной дозы), для помещений постоянного пребывания, мкЗв/ч	12,0 (ОСПОРБ 99/2010)	3,0	

При выполнении работ на ускорителе ТЕМП режим дозовой нагрузки определяется исходя из контрольных уровней, установленных службой радиационной безопасности.

Обеспечение радиационной безопасности при работе с источниками ионизирующего излучения достигается комплексом санитарно-гигиенических, инженерно-технических и организационных мероприятий, перечень которых, зависит от активности излучателя, вида излучения, технологии и способов применения источников. Вместе с тем в основу всех мероприятий защитного характера положено главное требование о том, чтобы дозы облучения как персонала, так и лиц других категорий не превышали допустимых величин.

Защитные мероприятия, позволяющие обеспечить условия радиационной безопасности при закрытых источниках, основаны на знании законов

распространения ионизирующего излучения и характера его взаимодействия с веществом. Главные из них следующие:

- доза внешнего облучения пропорциональна интенсивности излучения и времени воздействия;

- интенсивность излучения от точечного источника пропорциональна количеству квантов или частиц, возникающих в нем за единицу времени, и обратно пропорциональна квадрату расстояния (для протяженных источников эта зависимость более сложная);

- интенсивность излучения может быть уменьшена с помощью экранов. Из этих закономерностей вытекают основные принципы обеспечения радиационной безопасности:

- уменьшение мощности источников до минимальных величин («защита количеством»);

- сокращение времени работы с источниками («защита временем»);

- увеличение расстояния от источников до работающих («защита расстоянием»);

- экранирование источников излучения материалами, поглощающими ионизирующее излучение («защита экранами»).

Согласно проведенным измерениям мощности дозы гамма-излучения можно сделать вывод, что на территории, где проводились работы не наблюдалось превышение мощности эквивалентной дозы, а значит данные измерения проводились в условиях радиационной обстановки безопасной для человека.

Список публикаций

1. Колесников Е. В., Калиновский Ю. А., Куприянов В. В. Нейтронно-физический расчёт ядерного реактора типа УГР тепловой мощностью 180 МВт одnogрупповым методом // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 27-1 (51). - С. 60-61
2. Колесников Е. В., Калиновский Ю. А., Куприянов В. В. Расчёт ядерного реактора типа УГР тепловой мощностью 180 МВт с помощью программного обеспечения WIMS-D5 // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 27-1 (51). - С. 65-70
3. Колесников Е. В., Калиновский Ю. А., Куприянов В. В. Теплогидравлический расчет ядерного реактора типа ВВЭР мощностью 120 МВт // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 27-1 (51). - С. 62-64
4. Колесников Е. В., Калиновский Ю. А., Сорокин Д. Д. Расчет ядерного реактора типа ВВЭР тепловой мощностью 120 МВт с помощью программного обеспечения WIMS-D5 // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 27-1 (51). - С. 55-58
5. Колесников Е. В., Калиновский Ю. А., Сорокин Д. Д. Нейтронно-физический расчет ядерного реактора типа ВВЭР мощностью 120 МВт одnogрупповым методом // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 27-1 (51). - С. 59-60
6. Калиновский Ю. А., Колесников Е. В., Прец А. А. Предварительный тепловой расчет ядерного реактора БРЕСТ // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 28-1 (52). - С. 31-33
7. Калиновский Ю. А., Колесников Е. В., Прец А. А. Определение эксплуатационных параметров реактора БРЕСТ-ОД 300 // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 28-1 (52). - С. 33-37
8. Калиновский Ю. А., Колесников Е. В., Прец А. А. Расчет ядерного реактора с помощью пакета программ MCU // *Colloquium-journal*. - 2019 - №. 28-1 (52). - С. 37-41

9. Калиновский Ю. А., Колесников Е. В., Прец А. А. Нейтронно-физический расчет реактора БРЕСТ с различным изотопным составом свинцового теплоносителя // Colloquium-journal. - 2019 - №. 28-1 (52). - С. 41-43
10. Калиновский Ю. А., Колесников Е. В., Прец А. А. Реализация замкнутого ядерного топливного цикла на базе реакторной установки БРЕСТ // Colloquium-journal. - 2019 - №. 28-1 (52). - С. 44-46
11. Колесников Е. -. Изучение возможности наработки Со-60 на реакторе ИРТ-Т // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников XI Международной научно-практической конференции: в 2 т., Белово, 26-27 Апреля 2018. - Белово: Филиал КузГТУ в г. Белово, 2018 - Т. 1 - С. 182-185
12. Колесников Е. В., Калиновский Ю. А., Расчет параметров процесса десублимации UF_6 в вертикальных технологических емкостях // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников XIII Международной научно-практической конференции: в 3 т., Белово, 26 Марта 2020. - Белово: Филиал КузГТУ в г. Белово, 2020 - Т. 1 - С. 86-87
13. Колесников Е. В., Калиновский Ю. А., Исследование возможности создания не ртутного метода разделения изотопов лития // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников XIII Международной научно-практической конференции: в 3 т., Белово, 26 Марта 2020. - Белово: Филиал КузГТУ в г. Белово, 2020 - Т. 1 - С. 83-85
14. Калиновский Ю. А., Колесников Е. В., Расчет скорости прокачки свинцового теплоносителя через активную зону реактора // Инновации в технологиях и образовании: сборник статей участников XIII Международной научно-практической конференции: в 3 т., Белово, 26 Марта 2020. - Белово: Филиал КузГТУ в г. Белово, 2020 - Т. 1 - С. 159-161
15. Колесников Е. В. Исследование влияния пластификаторов на конечные свойства графитовых таблеток // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XXI Международной научно-практической конференции

студентов и молодых ученых, Томск, 21-24 Сентября 2020. - Томск: ТПУ, 2020 - С. 650-651

16. Колесников Е. В. Оценка влияния добавления пластификаторов для углеродных пресс-композиций на конечные свойства таблеток // X Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, Томск, 9-13 Ноября 2020. - Кемерово: Практика, 2020 - С. 84

17. Колесников Е. В. Проведение анализа на пористость графитовых пресс-композиций // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 26-29 Октября 2020. - Томск: ТПУ, 2020 - С. 64-65

18. Колесников Е. В. Проведение термического анализа углеродных-композиций с помощью программного обеспечения SOLIDWORKS // Изотопы: технологии, материалы и применение: сборник тезисов докладов VI Международной научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, Томск, 26-29 Октября 2020. - Томск: ТПУ, 2020 - С. 65-66

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Pogossian, M. M. A positronemission transaxial tomograph for nuclear imaging (PET)/Ter/ M. M. Pogossian M. E. Phelps, E. J. Hoffman, N. A. Mullani // *J. Radiology*. 1975, № 114 (1) P. 89-98.
2. Andersson, J. D. PET radioligands targeting the brainGABAA/benzodiazepine receptor complex / J. D. Andersson // *J. Label Compd. Radiopharm.* – 2013. – № 56 – P.196-206.
3. Magata, Y., Analytic Method of ¹¹C-Flumazenil Metabolite in Blood / Y. Magata., T. Mukai, M. Ihara, S. Nishizawa, H. Kitano, K. Ishizu, H. Saji, J. Konishi // *Simple. J Nucl Med*. 2003. № 44(3). P.17-21.
4. Amini, N., Identification of PET radiometabolites by cytochrome P450, UHPLC / Q-ToF-MS and fast radio-LC: applied to the PET radioligands [¹¹C] flumazenil, [¹⁸F] FE-PE2I, and [¹¹C] PBR28Nakao / N. Amini, R. Schou, M. Halldin // *Anal Bioanal Chem*, 2013, № 405, P.1303-1310.
5. Debets, R.M. Is ¹¹C-flumazenil PET superior to ¹⁸F-FDG PET and ¹²³I-iodoamphetamine SPECT in presurgical evaluation of temporal lobe epilepsy / B. Sadzot, J. W. Isselt, G. J. F., Brekelmans L. C., Huffelen A. C., G. Franck, C. W. M. Veelen // *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 1997, № 62. P.141-150.
6. Риннаб, L; [¹¹C] Холин ПЭТ / КТ для целенаправленной диссекции лимфатических узлов у пациентов с биохимическим рецидивом после первичной лечебной терапии рака простаты. Предварительные результаты проспективного исследования / L. Риннаб; F. M. Моттаги, Дж. Саймон, В. G. Volkmer, [и др.]. // *Urologia Internationalis*. 2008. № 81 (2). P. 191-7.
7. Хара, Т. Чувствительное обнаружение метастазов рака легких в лимфатические узлы средостения с помощью ¹¹C-холина ПЭТ. / К. Инагаки, N. Kosaka, Т. Морита // *Журнал ядерной медицины*. 2000. № 41 (9). P. 1507–13.
8. Кислый, П. С. Карбид бора. / П. С. Кислый, М. А. Кузнецова. Киев : Наукова думка, 1988. – 216 с.

9. Громов, В. В. Разделение и использование стабильных изотопов бора. Москва : ВИНТИ, 1990.
10. Рисованый, В. Д. Бор в ядерной технике / В. Д. Рисованый, А. В. Захаров. Димитровград : ОАО "ГНЦ НИИАР", 2011. 668 с.
11. Дигонский, С. В. Некоторые сведения из истории синтеза кубического нитрида бора для лезвийного режущего инструмента (часть 1) / С. В. Дигонский. // Альтернативная энергетика и экология. 2014, № 9, С. 49-57.
12. Плюто, А. А. Ускорение ионов релятивистским электронным пучком // Журнал технической физики. – 1973. – Т. 43. – №. 8. – С. 1627-1631.
13. Luce, J. S. Collective acceleration of intense ion beams in vacuum / J. S. Luce, H. L Sahlin., T. R. Crites // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 1973. – Т. 20. – №. 3. – С. 336-341.
14. Дубинов, А. Е. Коллективное ускорение ионов в системах с виртуальным катодом, А. Е. Дубинов, И. Ю. Корнилова, В. Д. Селемир // Успехи физических наук. – 2002. – Т. 172. – №. 11. – С. 1225-1246.
15. Graybill, S. E. Observation of Energetic Ions from a Beam-Generated Plasma / S. E. Graybill, J. R. Uglum // Journal of Applied Physics. – 1970. – Т. 41. – №. 1. – С. 236-240.
16. Adler, R. J. Ion-acceleration mechanisms in vacuum diodes / R. J. Adler, J. A. Nation // Journal of Applied Physics. – 1979. – Т. 50. – №. 7. – С. 5025-5027.
17. Adler, R. Collective acceleration of protons in relativistic electron beam propagation in evacuated drift tubes, J. Nation A., V Serlin // The Physics of Fluids. – 1981. – Т. 24. – №. 2. – С. 347-356.
18. Ryzhkov V. A. et al. Contribution of Residual Atmosphere Gases to the Flux of Collectively Accelerated Protons in a Luce Diode // Technical Physics Letters. – 2020. – Т. 46. – С. 361-363.
19. Ryzhkov, V. A. Determination of Energy and Fluences of Protons Collectively Accelerated in a Luce Diode Accelerator // Technical Physics Letters. – 2019. – Т. 45. – №. 7. – С. 718-720.

20. Willingale, L. Front versus rear side light-ion acceleration from high-intensity laser-solid inter-actions / L Willingale [et all]. // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. – 2010. – Т. 53. – №. 1. – С. 14-88.
21. Torrisi, L. Ion acceleration and DD nuclear fusion in laser-generated plasma from advanced deuterated polyethylene // *Molecules*. – 2014. – Т. 19. – №. 10. – С. 152-165.
22. Tayyab, M. Experimental investigation on nuclear reactions using a laser-accelerated proton and deuteron beam // *Plasma Physics and Controlled Fusion*. – 2019. – Т. 61. – №. 11. – С. 115.
23. Young, F. C. Diagnostics for intense pulsed ion beams // *Review of Scientific Instruments*, F. C. Young, J. Golden, C. A. Kapetanacos. – 1977. – Т. 48. – №. 4. – С. 432-443.
24. Лопатин, В.С., Ремнев Г.Е., Журавлев М.В. // *Известие вузов. Физика*. 2018. Т. 61. № 12. С. 121–125
25. Roughton, N.A. *Astrophys* / N. A Roughton, M. J. Fritts, R. J. Peterson, C.S. Zaidins, C. J. Hansen // 1974. № 188. P. 595–602.
26. Howerton, R.J., *Lawrence Livermore Laboratory Report*. / R. J. Howerton, J. S. Luce. С. 135.
27. Remnev G.E., Isakov I.F., Opekunov M.S., Matvienko V.M., Ryzhkov V.A., Struts V.K., Grushin I.I., Zakoutayev A.N., Potyomkin A.V., Tarbokov V.A., Pushkaryov A.N., Kutuzov V.L., Ovsyannikov M.Yu. // *Surf. Coat. Technol*. 1999. V. 114. N 2-3. P. 206–212.
28. РЫЖКОВ, В. А. Письма в ЖТФ. / В. А. РЫЖКОВ, Г.Е. Ремнев, М. В. Журавлев, И. Н. Пятков, В.С. Лопатин. 2019. Т. 45. С. 31-33.
29. Гаврикова, Н. А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение : учебно-методическое пособие / Н. А. Гаврикова, Л. Р. Тухватулина, И. Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шапаваова. – Томск : НИ ТПУ, 2014. С. 73.

30. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: учебное пособие / Ю.В. Скворцов – Москва : Высшая школа, 2006. – 399 с.

31. Российская Федерация. Трудовой кодекс Российской Федерации. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон №197 – ФЗ : [принят Государственной думой 30 декабря 2001 года (ред. от 30.04.2021)] – Москва, 2001. – 158 с.

32. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – URL : <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 28.04.2021). – Текст: электронный.

33. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. Дата введения: 1983-07-01. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 25.04.2021). – Текст: электронный.

34. ГОСТ Р12.1.00- 91 ССБТ. Пожарная безопасность. Дата введения: 1992-07-01. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 23.04.2021). – Текст: электронный.

Приложение А
(справочное)

Development of a target assembly for the synthesis of ultrashort-lived isotopes using a pulsed light ion beam

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM91	Колесников Евгений Вячеславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОТЯЦ	Видяев Дмитрий Геннадьевич	д.т.н., профессор		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Преподаватель ОИЯ	Шайкина Ольга Игоревна	преподаватель		

1. Basic information about ultrashort lived isotope ^{11}C

1.1 Obtaining ultrashort lived isotopes on charged particle accelerators

Not all isotopes can be produced in nuclear reactors by nuclear reactions with neutrons. Many radionuclides are synthesized at accelerators of protons and heavy ions, for example, at cyclotrons. A complex for the production of radioactive isotopes of iodine-123, fluorine-18, carbon-11, nitrogen-13, oxygen-15, rubidium-81, gallium-67, indium-111, thallium-201 and radiopharmaceuticals for their basis. The production of short-lived isotopes is carried out on cyclotrons, which provide high intensities of high-energy light ion beams and the acceleration of low-energy heavy ions, while the production of PET isotopes (PET-positron emission tomography) is carried out on specialized PET cyclotrons.

Currently, cyclotrons are being put into medicine not only as manufacturers of radionuclides and radiopharmaceuticals, but also as sources of protons and high-energy neutrons. Proton beams, for example, are used to irradiate intraocular targets. Thereby it becomes possible to perform one of the most promising treatments for cancer patients - radiation therapy of malignant tumors by proton beams. Treatment of eyes melanoma proton beams can be considered one of the most successful methods of cancer treatment.

Ultrafast neutrons (energy up to 70 MeV) have found application in radiation therapy for cancer patients. The neutron source from the cyclotron provides both quasi-monoenergetic neutrons from thin lithium and beryllium targets and continuous-spectrum neutrons. Dense fluxes of fast neutrons have no advantages in terms of the geometric distribution of the absorbed dose compared to the commonly used types of radiation (gamma rays and electrons), however, they have favorable changes in a number of biological action factors associated with high values of linear energy transfers. These are, for example, an increased value of the relative biological efficiency, a reduced value of the oxygen ratio, less dependence on the phase of the cell cycle and the fractionation regime.

Ultrashort-lived radionuclides occupy a special place in the production of radionuclides at charged particle accelerators. Due to the short half-life of ULS RN, the total cycle time from the moment of their receipt to the administration of the finished radiopharmaceutical to the patient should be minimal, which requires complete automation of processes at all stages and a compact concentration of all technological and medical equipment in a single complex, including an accelerator, protective equipment, blocks of radiochemical synthesis with a system of dosage and quality control of the radiopharmaceutical, hot chambers, etc. Scheme of preparation of labeled compounds for PET studies is shown in Figure 1.1

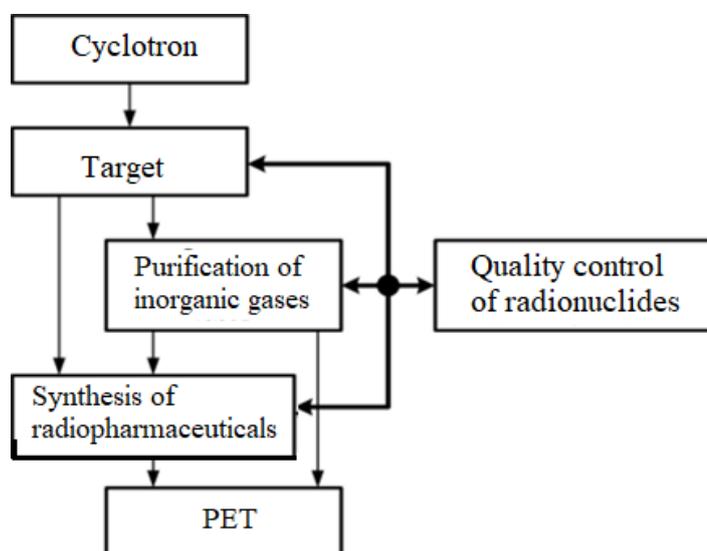


Figure 1.1 – Scheme of producing of labeled compounds for PET studies

1.2 Basic properties and methods of making ^{11}C

^{11}C was first synthesized in 1934. Later, in 1939, it was used to study photosynthesis in plants. And in 1945, the first experiments were carried out on human erythrocytes. Table 1 shows the nuclear physical properties of ^{11}C .

Table 1.1 – Nuclear physical properties of ^{11}C

Нуклид	$T_{1/2}$	Type of fission	$E_{\beta^+}(\text{max})$	$R_{\beta^+}(\text{max})$ biological tissue	A_{mol} , TBq/nmole $n \cdot 10^{21}$ Bq/mole
^{11}C	20,4 min	β^+ (99,8%) EC (0,2%)	0,96 MeV	4,1 mm	0,34

The main reactions of obtaining ^{11}C :

- $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$; energy range: from 4 to 15 MeV;
- $^{11}\text{B}(p,n)^{11}\text{C}$; energy range: from 3 to 20 MeV;
- $^{10}\text{B}(d,n)^{11}\text{C}$; energy range: up to 10 MeV;
- $^{12}\text{C}(^3\text{He},^4\text{He})^{11}\text{C}$; energy range: up to 30 MeV;
- $^{12}\text{C}(p,pn)^{11}\text{C}$; energy range: from 4 to 45 MeV.

Despite the abundance of options for obtaining this ULS RN, the main nuclear-chemical method for obtaining various chemical forms of carbon-11 in cyclotrons is the reaction $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$. Due to its short half-life, it is important to immediately obtain carbon-11 in the desired form: oxidized or reduced. Therefore, in cyclotrons, nitrogen is irradiated immediately with the addition of the necessary substances to the target:

$^{11}\text{CO}_2$ - N_2 target contains 1% of O_2

$^{11}\text{CH}_4$ - N_2 target contains 5% of H_2

The threshold of the $^{14}\text{N}(p,\alpha)^{11}\text{C}$ reaction is about 4 MeV (Figure 1.2), and the maximum of the cross section is about 8 MeV.

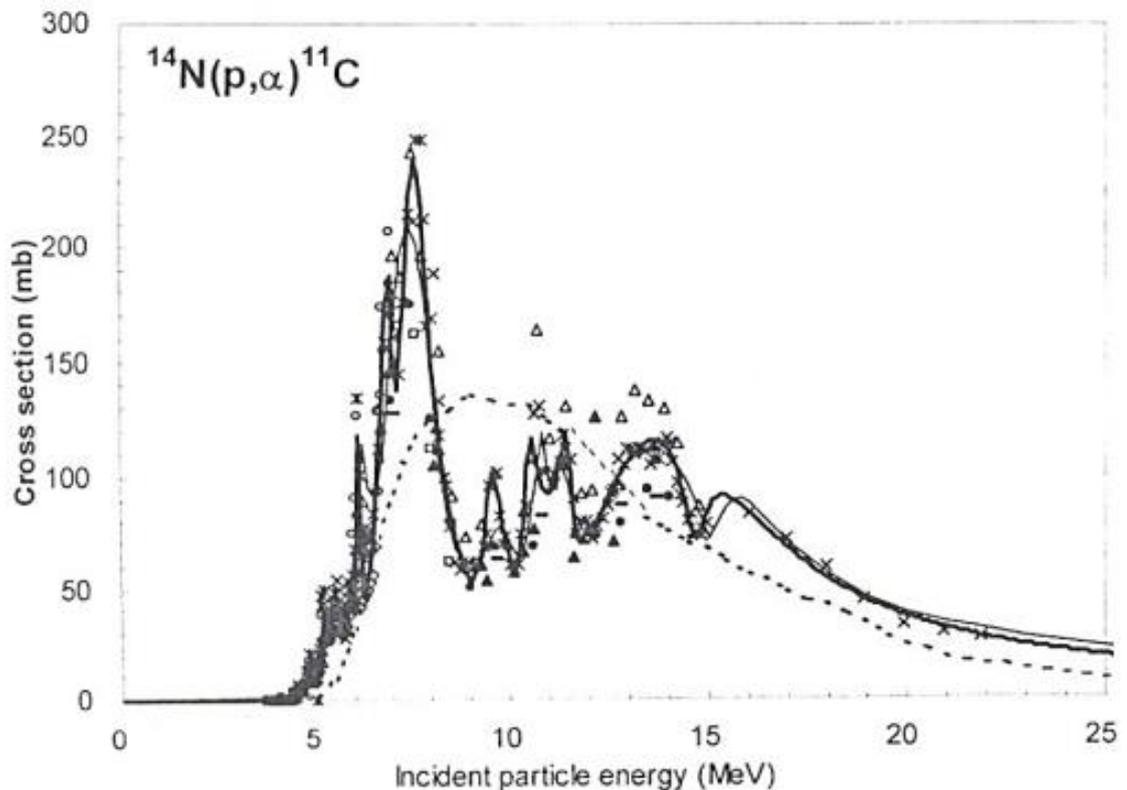


Figure 1.2 – The dependence of $^{14}\text{N}(p, \alpha)^{11}\text{C}$ reaction on protons' energy

In a gas target for the production of carbon-11, the range of protons is large, so it looks like a long tube in which the gas is under pressure. The foil at the entrance to the target is cooled with helium. The performance of a gas target depends on the target design, target volume, gas composition and target pressure. When the beam passes through the gas target, the protons are scattered. To optimally use the target volume, the tube is made with a conical expansion.

The radioactivity of the resulting ^{11}C depends on the material from which the target walls are made. The synthesis time of ^{11}C radio tracers should not exceed three half-lives. And the maximum output will be obtained in 20 minutes.

Consider one of the most popular cyclotrons for the production of radiopharmaceuticals in the CIS countries. Table 2 shows some parameters of the Cyclone® KIUBE cyclotron for making ^{11}C .

Table 1.2 – Parameters of Cyclone® KIUBE ceclotron for making ^{11}C

Precursor for a radiopharmaceutical	$^{11}\text{C}\text{-CO}_2$	$^{11}\text{C}\text{-CH}_4$
Chemical form	CO_2	CH_4
Target material	$\text{N}_2+1\%\text{O}_2$	$\text{N}_2+5\%\text{H}_2$
Foil material	Aluminium	Aluminium
Reaction flask material	Aluminium	Aluminium
Beam energy	18 MeV	18 MeV
Reaction flask volume, ml	30	30
Product yield, $\mu\text{Ci}/\mu\text{A}$	150	60
Activity at the end of exposure, $\mu\text{Ci}/\text{GBq}$	4000/148	1000/37

As can be seen from Table 2, the foil material for the cyclotron is aluminum, which practically does not affect the radioactivity. In our case, there is no need for aluminum foils, because the feedstock is not gaseous, but solid.

1.3 Radionuclide-based radiopharmaceuticals ^{11}C

The principle of positron emission tomography (PET) is as follows: a radiopharmaceutical is injected to a patient intravenously - liquid containing radioisotopes whose radiation and registers the PET scanner. The resulting image allows to judge the functioning of an organ or tissue and identify pathology even at the stage of damage to individual cells, long before serious organ damage and the appearance of metastases.

Hybrid technology – PET / CT – combines functional and anatomical imaging, provides a clear picture of the functioning of the body's functions and is widely used for oncological imaging and detection of inflammatory diseases, as well as in some neurological, cardiological examinations and vascular imaging. World experience shows that according to the results of PET scanning, the treatment plan is changed for 43.1% of patients.

It is noteworthy that in terms of the effect on the body, PET examination is not more harmful than CT, and the possible benefits of early diagnosis can be equal to the saved life.

The possibilities of PET/CT diagnostics largely depend on the available arsenal of radiopharmaceuticals: different compounds and radioactive labels are required to study different organs and diagnose different diseases. The USA, Japan, Germany, Belgium, France, Spain are leading in terms of the availability of PET/CT diagnostics. There are only a few PET centers in Russia: this is caused, on the one hand, by the complexity of this method and, on the other, by the need to create an entire infrastructure for research. For a long time, PET/CT diagnostics was available only in Moscow and St. Petersburg, and recently, state PET centers began to appear in the regions of Siberia, the Volga, the Far East, but even the total number of operating PET centers is not enough to meet the population's need for this diagnosis.

The use of a carbon isotope to create radiopharmaceuticals is very beneficial, since this element is found in all organic molecules. ^{11}C and ^{18}F are leaders in the application of nuclear medicine.

Advantages of using ^{11}C as a radiopharmaceutical:

- Possibility of obtaining radio tracers - "true" analogs of natural substrates;
- Low $T_{1/2} = 20$ min, due to which there is a small dose load and, as a result, it becomes possible to carry out repeated PET examinations on one patient;
- The available parent radionuclides (^{14}N) and the nuclear reaction with a high cross section make it possible to obtain rather inexpensively large ^{11}C radioactivity in two chemical forms ($^{11}\text{CO}_2$ or $^{11}\text{CH}_4$) in the gas target of the cyclotron;
- Simple and reliable technology of ^{11}C operating time, minimal target service, foil replacement: once every 10-20 years;
- Possibility of producing a large number of radiopharmaceuticals using standard methylation and carbonylation technologies;
- Ability to perform different syntheses on the same module at short intervals.

There are several ways to label ultrashort-lived isotopes. With the isotopic introduction of the label, ^{11}C replaces the stable $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ in the molecule; the biological activity of the molecule does not change. With non-isotopic labeling, a functional group containing ^{11}C is introduced into the substrate molecule; in this case, a molecule of another compound is formed with different from the initial chemical properties and biological activity.

The change of radioactivity of ^{11}C on different manufacturing stages:

1. Production of ^{11}C in a cyclotron target with an activity of 1-3 Ci;
2. Radiochemical synthesis, which should take no more than three half-lives;
3. Obtaining an injectable form with an activity of 0.06 - 0.6 Ci, which takes about 20 minutes;
4. Analysis of the preparation. Activity is reduced to 0.03 - 0.3 Ci;
5. Injection.

To obtain a high-quality image, the patient needs to inject 5-10 mCi.

Thus, due to the fact that radiopharmaceuticals must be synthesized within three half-lives, it is proposed in this work to obtain a precursor with the same activity as that obtained on a cyclotron.

2. Literary analysis of target materials for a charged particle accelerator

Let us begin our literature review of boron-containing targets by considering boron as a chemical element. Boron (B, lat. Borum) is a chemical element of the 13th group, the second period of the periodic table with atomic number 5. Colorless, gray or red crystalline or dark amorphous substance. More than 10 allotropic modifications of boron are known, the formation and mutual transitions of which are determined by the temperature at which boron was obtained.

In nature, boron is found in the form of two isotopes ^{10}B (19,8%) and ^{11}B (80,2%). ^{10}B has a very high capture cross section for thermal neutrons, equal to 3837 barns, with neutron capture produces two non-radioactive nucleus (alpha particle and lithium-7), very rapidly braked in the medium, and ionizing radiation (gamma rays) while absent, difference from similar reactions of neutron capture by other nuclides.

Therefore, ^{10}B in the composition of boric acid and other chemical compounds is used in nuclear reactors to regulate reactivity, as well as for biological protection against thermal neutrons. In addition, boron is used in neutron capture therapy for cancer.

In addition to two stable ones, 12 more radioactive isotopes of boron are known, of which the longest-lived is ^8B with a half-life of 0.77 s.

In this work, for the production of ^{11}C , it is proposed to use the following reaction: $^{10}\text{B} (\text{d}, \text{n}) ^{11}\text{C}$. For this, a boron-containing solid target is irradiated with a powerful pulsed ion beam. The $^{11}\text{B} (\text{p}, \text{n}) ^{11}\text{C}$ reaction has a small contribution to the production of ultrashort-lived isotopes. This is due to the lower content of ^{11}B in the natural composition and due to the low yield of protons in comparison with deuterons in this energy range. Next, we will consider as targets boron-containing substances that have a low erosion ability. As such materials can be used: boron metal, boron carbide or boron nitride (cubic).

2.1 Metallic boron

Boron is similar to carbon in its ability to form stable, covalently linked molecular networks. Even disordered (amorphous) boron contains icosahedral B_{12} motifs of crystalline boron, which are linked to each other without long-range ordering. Crystalline boron is a very hard black material with a melting point above 2000°C . It forms four main polymorphic forms: α -rhombohedral and β -rhombohedral (α -R and β -R), γ and β -tetragonal (β -T); there is also an α -tetragonal phase (α -T), but it is very difficult to obtain in pure form. Most of the phases are based on icosahedral B_{12} motifs, but the γ -phase can be described as a NaCl-type phase with an alternating arrangement of icosahedra and B_2 atomic pairs. The γ -phase can be obtained by compressing other boron phases to 12–20 GPa and heating to 1500 – 1800°C ; it remains stable after decreasing temperature and pressure. The T-phase forms at similar pressures, but at higher temperatures (1800 – 2200°C). As for the α and β phases, they can coexist under ambient conditions, with the β -phase being more stable. When boron is compressed above 160 GPa, a boron phase with an unknown structure is formed, which is superconducting at a temperature of 6–12 K.

2.2 Boron carbide

Boron carbide $B_4C(B_{12}C_3)$ is a compound of boron and carbon. Boron carbide is performed as black shiny crystals (density $2,52\text{ g/cm}^3$). Boron carbide has high chemical resistance in various corrosive environments, it does not react with acids, but it is decomposed with alkali. Boron carbide is abrasive refractory material, resistant to temperature of 1000°C .

Melting point of boron carbide is 2450°C . Boron carbide density increases linearly with carbon content within the phase homogeneity region. The measured density for B_4C is $2,52\text{ g/cm}^3$; for $B_{13}C_2$ – $2,49\text{ g/cm}^3$; for $B_{10,4}C$ – $2,47\text{ g/cm}^3$.

The thermal expansion coefficient of boron carbide is $\alpha = 5.73 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ (300 - 1970 K). Boron carbide is one of the hardest materials (third after diamond and cubic

BN), its hardness value is $H_V \approx 35$ GPa. The microhardness of boron carbide increases linearly with the carbon content in the region of phase homogeneity. In the presence of free carbon, the hardness of boron carbide decreases.

Due to its high hardness and strength, boron carbide is second only to diamond in abrasion resistance. Expressed in arbitrary units, the abrasive resistance of diamond is 0.613, while for boron carbide this value is 0,4-0,422.

The Young's modulus is 320-480 GPa, a shear modulus - 130-200 GPa and moduli increase with increasing carbon content.

Boron carbide has a tensile strength of 300-500 MPa. Fracture toughness coefficient K_{IC} is 3.0-4.0 MPa · m^{1/2}.

Boron carbide is one of the most inert compounds. It resists the action of mineral acids and bases. At temperatures above 1000°C, it reacts with chlorine and with many metals and their oxides to form borides and carbon monoxide. Aluminum and silicon form substitutional compounds with boron carbide.

Finely dispersed boron carbide powders slowly oxidize in humid air, forming B₂O₃ or H₃BO₃. Oxidation of hot pressed samples in oxygen begins at 600°C and leads to the formation of a thin transparent film of B₂O₃; above 1200°C, intense oxidation of boron carbide occurs.

Boron carbide is a high-temperature p-type semiconductor in the entire homogeneity region, the properties of which change noticeably depending not only on the content of impurities, but also on the method of preparation, heat treatment and deviation of the composition from stoichiometry.

2.3 Boron nitride

Elbor, borazon, cubonite, kingsongite, cyborite are trademarks of superhard materials based on cubic β -modification of boron nitride, or cubic boron nitride (Soviet abbreviation - KNB, foreign - cBN). In terms of hardness and other properties, it is close to diamond (10 on the Mohs scale). Chemical formula - BN, there is no natural analogue.

The color of cBN can be from almost white (colorless) to black. Yellow, highly refracting transparent crystals, with a good play of light, the natural shape is octahedral. Crystals of this type, brands JKB60 and B5, are synthesized, for example, in the Li-B-N system. For c BN brand elbor JKB40, JKB50, synthesized in the Mg-B-N system, a black-brown color is characteristic due to an excess of boron in the crystal lattice.

Its hardness is almost equal to diamond. Its high hardness, 3-4 times higher than the hardness of traditional abrasives, is an important advantage, since it significantly reduces the wear of cBN grains during grinding and retains their sharpness for a long time.

Another important property and advantage of elbor is temperature stability: a noticeable oxidation of the surface of elbor grains begins at 1000–1200 °C, in contrast to 600–700 °C for diamond. Such temperatures during grinding are instantaneous and occur only under very hard grinding conditions. Therefore, Elbor grains wear out very little from thermal stress.

An important property and advantage of elbor is its high chemical resistance. Elbor does not react with acids and alkalis, it is inert to almost all chemical elements that make up steels and alloys. Especially noteworthy is the inertness of elbor to iron, which is the basis of all steels, while diamond dissolves well in iron, which is the reason for intense wear of diamond wheels when grinding steels.

Hexagonal boron nitride (graphite-like modification) is obtained by heating equal amounts of boron and nitrogen at a temperature of 1700-1800 °C and a pressure of 8-12 GPa. cBN is obtained from it by heating at high pressures and temperatures in the presence of various catalytic solvents.

It is used in the industry in grinding tools for the processing of various steels and alloys. Elbor as an abrasive material has the following advantages when grinding:

- for a long time retains the sharpness of the grains (high wear resistance), which determines the high cutting ability and durability of the wheels;
- withstands high thermal loads, which makes it possible to intensify the grinding modes;

– allows grinding complex-alloyed steels and alloys without adhesion and diffuse wear of cBN grains;

– Wheels based on elbor are used for grinding parts made of various steels: bearing, die, tool, complex-alloyed, nitrided and cemented. cBN wheels are especially effective when grinding high-speed steels containing tungsten, vanadium, molybdenum, cobalt in the form of compounds of high hardness, in some cases exceeding the hardness of a traditional abrasive material - electrocorundum.

The use of cBN grinding wheels in comparison with other abrasive wheels, including diamond ones, contributes to a significant increase in productivity, accuracy and quality of the machined surfaces of parts in different grinding operations.

In the course of a comparative analysis of the target materials, it was decided to use boron nitride. Boron nitride in its mechanical properties has a number of advantages over other materials and a relatively low cost. It was decided to exclude boron carbide due to the fact that it contains carbon atoms, which, when released into a gaseous form by an oxidation reaction, can reduce the specific activity of a precursor for radiopharmaceuticals.