

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование возможности получения нуклидов Sr^{82} и I^{124} для ядерной медицины на циклотроне Р7-М ТПУ

УДК 621.039.8.002

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Салодкин Степан Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. ПРВ	В.М. Головков	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	М. В. Верховская	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

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

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

О. Ю. Долматов

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4B	Салодкину Степану Сергеевичу

Тема работы:

Исследование возможности получения нуклидов Sr^{82} и I^{124} для ядерной медицины на циклотроне Р7-М ТПУ

Утверждена приказом директора (дата, номер)

26.02.2016 № 1618/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

20.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none"> – ядерно-физические данные об ядерных реакциях; – параметры циклотрона при облучении; – параметры полупроводникового германиевого детектора; – оборудование: мишень из TeO_2; – требования к особенностям функционирования программы расчёта ядерной реакции.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – обзор литературы по возможностям получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} и их применения в ядерной медицине; – изготовление мишени и подготовка циклотрона для проведения эксперимента; – проведение эксперимента по облучению мишени TeO_2; – измерение и анализ спектральных характеристик облучённой мишени; – разработка программы для расчёта

	теоретического выхода ядерной реакции и сравнение результатов.
Перечень графического материала	Конструкция генератора рубидия-82 – обязательный чертёж
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	М. В. Верховская
Социальная ответственность	Т. С. Гоголева
Иностранный язык	Я. В. Ермакова
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Введение	
Основные положения ядерной медицины	
Методика исследования	
Результаты измерений и расчётов	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. лаб. ПРВ	В.М. Головков	к.ф.-м.н.		01.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Салодкин Степан Сергеевич		01.02.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4B	Салодкину Степану Сергеевичу

Институт	Физико-технический	Кафедра	Физико-энергетические установки
Уровень образования	магистр	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; – информационных; – человеческих.
– нормы и нормативы расходования ресурсов:	– электроэнергии.
– используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений для:	– преподавателей и студентов университета.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

– оценка коммерческого и инновационного потенциала НИ;	– составление карты сегментирования рынка; – формирование оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений.
– планирование и формирование бюджета НИ;	– составление иерархической и организационной структуры НИ; – представление плана НИ; – формирование бюджета затрат НИ.
– определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности НИ.	– расчет интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя экономической эффективности.

Перечень графического материала:

– таблица сегментирования рынка; – диаграмма FAST; – иерархическая структура работ проекта; – календарный план-график проекта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	М. В. Верховская	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Салодкин Степан Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM4B	Салодкину Степану Сергеевичу

Институт	Физико-технический	Кафедра	Физико-энергетические установки
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<ul style="list-style-type: none"> – описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: 	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической природы);
<ul style="list-style-type: none"> – знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме: 	<ul style="list-style-type: none"> – радиационная безопасность; – электробезопасность; – пожарная безопасность; – гигиенические требования к ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<ul style="list-style-type: none"> – анализ выявленных вредных производственных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: 	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ).
<ul style="list-style-type: none"> – анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности: 	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.2016
---	------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM4B	Салодкин Степан Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 126 с., 15 рис., 33 табл., 18 источников, 7 прил.

Ключевые слова: ядерная медицина, ПЭТ, циклотрон, I^{124} , Sr^{82} , TeO_2 , мишенное устройство, дейтроны, полупроводниковый германиевый детектор, Visual Studio 2005, C#.

Объектом исследования являются методы получения радионуклидов I^{124} и Sr^{82} .

Цель работы – исследование возможности получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} для ядерной медицины на циклотроне Р7-М ТПУ.

В процессе исследования проводились эксперимент по получению I^{124} и измерение его выхода, написание программы для расчёта теоретического выхода ядерных реакций для тонкой мишени.

В результате исследования были получены экспериментальные данные по выходу изотопа I^{124} для мишени из $^{nat}TeO_2$ при энергии падающих дейтронов 13,6 МэВ.

Область применения: ядерная медицина.

Значимость работы состоит в исследовании методики получения альтернативных РФП для ПЭТ.

Экономическая эффективность/значимость работы – разрабатываемый проект обладает наиболее оптимальным вариантом с позиции ресурсного, финансового и экономического сбережения в сравнении с другими аналогами.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография;

^{18}FDG – фтордезоксиглюкоза;

I^{124} – изотоп йод-124;

Sr^{82} – изотоп стронций-82;

TeO_2 – диоксид теллура;

РФП – радиофармпрепарат;

РНД – радионуклидная диагностика;

РНТ – радионуклидная терапия;

ОФЭКТ – однофотонная эмиссионная компьютерная томография;

РН – радионуклид;

УКЖ РН – ультракороткоживущие радионуклиды;

ЯМ – ядерная медицина;

ОЧГ – особо чистый германий;

МКА – многоканальный анализатор;

C# — язык программирования C#;

а.е.м. – атомная единица массы: $1 \text{ а. е. м.} = 1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Оглавление

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП	2
РЕФЕРАТ	7
Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки.....	8
Введение.....	12
1 Основные положения ядерной медицины	14
1.1 Физические основы ядерной медицины	15
1.2 Радиодиагностическая аппаратура.....	16
1.2.1 ОФЭКТ	16
1.2.2 ПЭТ.....	17
1.3 Ускорители заряженных частиц.....	18
1.3.1 Циклотрон.....	18
1.3.2 Линейный ускоритель	21
1.4 Радионуклиды в ядерной медицине	23
2 Методика исследования	24
2.1 Циклотрон Р-7М.....	24
2.2 Оборудование спектрометрического тракта	25
3 Результаты измерений и расчётов.....	29
3.1 Получение I^{124} на циклотроне Р-7М.....	29
3.2 Измерение выхода.....	31
3.2.1 Калибровка по энергии.....	31
3.2.2 Калибровка по эффективности	32
3.2.3 Проведение измерений активности мишени.....	33
3.3 Программа расчёта выхода ядерной реакции	35

4	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	40
4.1	Потенциальные потребители результатов исследования	40
4.1.1	Анализ конкурентных технических решений.....	41
4.1.2	FAST-анализ.....	44
4.1.3	SWOT-анализ.....	48
4.2	Инициация проекта.....	50
4.3	Планирование управлением научно-техническим проектом.....	52
4.3.1	Иерархическая структура работ проекта.....	52
4.3.2	Контрольные события проекта.....	52
4.3.3	План проекта	53
4.4	Бюджет научного исследования.....	55
4.4.1	Расчёт материальных затрат	56
4.4.2	Расчёт затрат на специальное оборудование	57
4.4.3	Расчет основной заработной платы	58
4.4.4	Расчет дополнительной заработной платы	60
4.4.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	61
4.4.6	Накладные расходы	62
4.4.7	Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.	63
4.4.8	Организационная структура проекта.....	63
4.4.9	Матрица ответственности	64
4.5	Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования	67
5	Социальная ответственность	71
5.1	Производственная безопасность	71

5.2 Разработка мероприятий по снижению уровней вредного воздействия и устранению их влияния при работе с используемым оборудованием.....	73
5.2.1 Правила соблюдения радиационной безопасности. Нормы радиационной безопасности	73
5.2.2 Электробезопасность.....	76
5.2.3 Требование и организация работ с ЭВМ.....	79
5.2.4 Пожарная безопасность.....	83
Заключение	84
Список публикаций студента	85
Список использованных источников	86
Приложение А (обязательное) Конструкция генератора рубидия-82. Сборочный чертёж	88
Приложение Б (обязательное) Листинг кода программы.....	90
Приложение В (обязательное) Раздел 2.3 Получение и применение I^{124} и Sr^{82} . Среда Visual Studio и язык программирования C#.....	102
Приложение Г (справочное) Функционально-стоимостная диаграмма	120
Приложение Д (справочное) Матрица SWOT-анализа.....	121
Приложение Е (справочное) Иерархическая структура работ проекта	124
Приложение Ж (справочное) Календарный план-график проекта.....	125

Введение

Применение радиоизотопов для медицины значительно увеличилось за последние десять лет, и одним из основных факторов, способствующих этому является наличие большого количества действующих циклотронов, специализирующихся исключительно на производстве радиоизотопов для медицинских целей. Недавний опрос МАГАТЭ [1] показал, что в государствах-членах Агентства насчитывается более 350 циклотронов, многие из которых эксплуатируются исключительно для производства изотопов для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ). Наиболее часто на циклотронах получают F^{18} для производства фтордезоксиглюкозы (^{18}FDG).

Несмотря на то, что производство других изотопов, отличных от F^{18} , на циклотронах не так распространено, они используются также для производства большого количества изотопов необходимых для медицины и промышленности.

Целью данной работы является: исследование возможности получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} для ядерной медицины на циклотроне Р7-М ТПУ.

Для достижения результата, в соответствии с поставленной целью работы, необходимо было решить следующие задачи:

- сделать обзор литературы по методам получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} и их применению в ядерной медицине;
- изготовить мишени и подготовить циклотрон для проведения эксперимента;
- проведение эксперимента по облучению мишени TeO_2 ;
- измерение и анализ спектральных характеристик облучённой мишени;
- разработать программу для расчёта теоретического выхода ядерной реакции и сравнить результаты расчетов с экспериментом .

Актуальность данной работы связана с планами создания ПЭТ центра в Томске, работу которого в части обеспечения РФП будет обеспечивать ТПУ.

Научная новизна состоит в экспериментальном измерении выхода I^{124} для мишени из $^{nat}\text{TeO}_2$ при энергии падающих дейтронов 13,6 МэВ для дальнейшего использования данного нуклида как основы для РФП.

1 Основные положения ядерной медицины

В настоящее время в клинической медицине существует целый ряд методов диагностики, основанных на визуализации патологических и нормальных тканей тела человека с помощью различных физических агентов. По широте применения и диагностической значимости на первом месте стоят рентгенологические исследования разных типов, методов и технологий. Позднее появились методы ультразвуковой, магнитно-резонансной, термографической и другой визуализации. Каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками, вследствие чего наилучший диагностический эффект достигается при их совместном использовании. В этом ряду достойное место заняла и радионуклидная диагностика (РНД), основанная на использовании различных соединений, меченных радионуклидами и называемых радиофармацевтическими препаратами (РФП). Сначала РНД применялась только в онкологии, но вскоре методы РНД были успешно распространены и в кардиологию, пульмонологию и другие разделы клинической медицины.

Почти одновременно с методами лучевой терапии, основанными на дистанционном и контактном облучении патологических очагов с помощью различных закрытых источников ионизирующих излучений, был разработан еще один метод лучевой терапии, основанный на облучении подобных очагов путем введения в организм больного терапевтической активности РФП, т.е. открытых источников излучения. Теперь этот метод называется радионуклидной терапией (РНТ). В современной научной литературе РНД и РНТ объединяются термином ядерная медицина (nuclear medicine) [2].

1.1 Физические основы ядерной медицины

По области применения радионуклидов в ядерной медицине, а также соответствующих РФП на их основе классифицируют по как диагностические и терапевтические РН.

Схематически эта классификация изображена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Радионуклиды для ядерной медицины

В диагностических РФП радионуклид является информационным носителем, излучение которого, проникает за пределы организма и регистрируется внешними детекторами. При этом данные радионуклиды могут быть отнесены к следующим группам, в зависимости от типа излучения:

– радионуклиды для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ или SPECT в английской аббревиатуре) – к ним относят γ-излучатели, имеющие энергию γ-квантов в пределах 100-200 кэВ и период полураспада от нескольких минут до нескольких дней.

– радионуклиды для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ или PET) – это – β⁺- излучатели с периодом полураспада от нескольких секунд до нескольких часов.

В терапевтических РФП радионуклид создаёт лечебную дозу излучения непосредственно в органе-мишени либо, иногда, в пораженных клетках, обеспечив при этом минимальное облучение окружающих здоровых клеток органов и тканей. В зависимости от характера и локализации патологического процесса для радиотерапии используют:

- β^- - излучатели с энергиями β^- -частиц в области 200 – 2000 кэВ;
- α - излучатели с высокой линейной передачей энергии (ЛПЭ ~ 100 кэВ/мкм) и коротким пробегом частиц (50 – 100 мкм);
- радионуклиды, распадающиеся путем электронного захвата (на рисунке 1 – ЭЗ) или внутренней электронной конверсией (ВЭК) [3].

1.2 Радиодиагностическая аппаратура

1.2.1 ОФЭКТ

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография – основана на получении трёхмерных изображений источников излучения. Информация обычно представляют на дисплее компьютера в виде поперечных разрезов в разных плоскостях, но может быть представлена и в другом виде в зависимости от целей исследования.

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография позволяет получать объёмное изображение распределения γ -излучающих радионуклидов. В этом методе на основе 2D-изображений срезов тканей (органов) с помощью компьютерных программ реконструируют трёхмерное изображение. Подбор радионуклидов для ОФЭКТ осуществляют таким образом, чтобы энергия γ -кванта находилась в интервале 60-300 кэВ. В этом случае достигается высокое качество сканирования. ОФЭКТ предназначена для исследования анатомии и функционирования различных органов, а также выявления костных патологий. Широкое разнообразие РФП препаратов и используемых методик позволяет производить диагностику практически любого органа.

1.2.2 ПЭТ

Позитронная-эмиссионная томография в РНД является неинвазивной ядерной технологией визуализации, которая включает назначение пациенту РФП, меченого испускающим позитроны радионуклидом, и последующую визуализацию распределения и кинетики этого радиоактивного вещества в организме пациента. ПЭТ основана на детектировании временного совпадения двух 511-кэВ фотонов, образующихся при аннигиляции позитрона и разлетающихся в противоположных направлениях. Временное совпадение фотонов в пределах выделенного интервала, называемое «временное окно совпадения», регистрируется специальной электроникой томографа. Преобразование в детекторах 511-кэВ фотонов в световые фотоны, формирование электронных импульсов в фотоумножителях (ФЭУ) и анализ амплитудного распределения импульсов происходят по тем же законам, как и в традиционных гамма-камерах. Так как направления разлетающихся в противоположные стороны аннигиляционных фотонов находятся на прямой линии, то для ограничения поля видимости системы дополнительная коллимация, вообще говоря, не требуется. Такой способ выделения поля обзора называют «электронной коллимацией».

В настоящее время ПЭТ часто комбинируется в одно устройство с компьютерным рентгеновским томографом (КТ). Такая система (ПЭТ/КТ) представляет собой принципиально новую модальность визуализации. В ней объединяются в единое целое гентри обеих модальностей, что позволяет осуществлять линейное перемещение пациента из одной установки в другую. Сбор данных происходит в близкой временной последовательности и совместной регистрации. Мотивация такого подхода происходит из необходимости идентификации областей повышенного поглощения радиотрасера по отношению к индивидуальной анатомии пациента. ПЭТ-сканирование выявляет по увеличенному усвоению РФП не только

ненормальность функций тканей, но не даёт адекватный «портрет», лежащий в основе тканевой морфологии.

До создания системы ПЭТ/КТ-изображения от каждой модальности измерялись отдельно и, как правило, с существенным временным интервалом между ними. КТ-изображения обычно импортировались в ПЭТ-систему, где специальное программное обеспечение производило объединение изображений. Различия в ориентации и укладке пациента между модальностями, внутреннее перемещение органов, активность пищеварительного тракта, изменение размеров опухолей и др. ограничивали полезность ПЭТ-метода диагностики. ПЭТ/КТ-визуализация стала первой новой модальностью, которая реально и повторяемо комбинирует функциональную и анатомическую визуализацию [4].

1.3 Ускорители заряженных частиц

1.3.1 Циклотрон

В циклотроне заряженные частицы удерживаются магнитным полем на квазикруговых орбитах и ускоряются высокочастотным электрическим полем. В отличие от большинства других циклических ускорителей ускорение в циклотроне начинается с нулевой энергии ионов. Постоянное во времени магнитное поле циклотрона занимает всю область внутри наиболее удаленной от центра орбиты.

Во всех построенных или разрабатываемых в настоящее время циклотронах ускоряющее электрическое поле создается так называемой «дуантной системой», хотя рассматривались и другие методы ускорения. Дуантами называются полые D-образные электроды, показанные схематически на рисунке 3. К дуантам прикладывается высокочастотное напряжение с частотой, приблизительно равной частоте обращения ионов в магнитном поле.

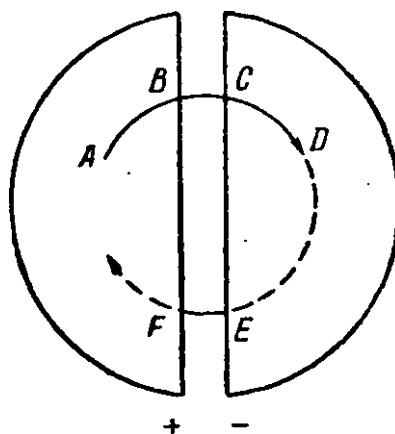


Рисунок 3 – Схематическое изображение дуантной системы циклотрона

К дуантам прикладывается высокочастотное напряжение с частотой, равной частоте обращения ионов в магнитном поле. Рассмотрим положительно заряженную частицу, начинающую движение от точки А (рис. 1). При движении от А к В частица находится внутри дуанта и поэтому не испытывает действия электрического поля. Между точками В и С электрическое поле между дуантами действует на частицу, и, если фаза его такова, что левый дуант имеет положительный потенциал относительно правого, частица ускоряется. При движении по пути С – D – E ион снова находится внутри дуанта, т. е. в области, свободной от электрического поля. Время движения от В до Е равно половине периода обращения иона. Так как частота электрического поля согласована с частотой обращения, фаза напряжения тоже сдвинется к этому моменту на половину периода. Если раньше, когда ион находился в точке В, был положительным левый дуант, то теперь положительным стал правый, и при движении иона от Е к F электрическое поле будет опять ускоряющим. Пройдя точку F, ион снова движется в области, свободной от электрического поля, и, наконец, возвращается в точку, где условия его движения аналогичны тем, которые были в самом начале в точке А. Далее цикл движения повторяется.

На каждом обороте ион увеличивает свою энергию, поэтому радиус его круговой траектории в магнитном поле возрастает. Радиус орбиты увеличивается до тех пор, пока ион на самой удаленной от центра орбите не

достигнет максимальной энергии. Затем он попадает на внутреннюю мишень или выводится из магнитного поля и направляется на внешнюю мишень.

Таблица 1 – Перечень наиболее важных для ЯМ РН, производимых на циклотронах

Радионуклид	$T_{1/2}$	Вид распада	Ядерная реакция
Be^7	53,3 д	Э. з.	$Li^7 (p, n)$
C^{11}	20,4 мин	β^+	$N^{14} (p, \alpha)$
N^{13}	9,98 мин	β^+	$O^{16} (p, \alpha)$
O^{15}	2,03 мин	β^+	$N^{14} (d, n)$ или $N^{15} (p, n)$
F^{18}	109,8 ч	β^+	$O^{16} (p, n)$ или $Ne^{20} (d, \alpha)$
Fe^{52}	8,3 ч	β^+ (57%), Э. з.*	$Cr^{50} (\alpha, 2n)$ $Cr^{52} (He^3, 3n)$ $Mg^{55} (p, 4n)$
Co^{55}	17,6 ч	β^+ (77%) Э. з.	$Fe^{56} (p, 2n)$
Zn^{62}	9,1 ч	Э. з. (93%) β^-	$Cu^{63} (p, 2n)$ $Zn^{68} (p, 2n)$
Ga^{67}	78 ч	Э. з.	$Zn^{67} (d, 2n)$ $Zn^{68} (d, 3n)$ $Se^{78} (p, 2n)$
Br^{77}	56 ч	Э. з.	$Br^{79} (p, 3n) Kr^{77}$ $As^{75} (\alpha, 2n)$
Rb^{81}	4,6 ч	Э. з.	$Kr^{82} (p, 2n)$
In^{111}	2,8 д	Э. з.	$Cd^{112} (p, 2n)$ $Te^{124} (p, 2n)$
I^{123}	13,2 ч	Э. з.	$Xe^{124} (p, 2n) Cs^{123} \rightarrow$ Э. з.
I^{124}	4,18 д	Э. з., β^+	$Te^{124} (p, n)$ или $Te^{124} (d, 2n)$
Tl^{201}	73 ч	Э. з.	$Tl^{201} (p, 3n) Pb^{201} \rightarrow$ Э. з. $Hg^{202} (p, 2n)$
Pb^{203}	51,9 ч	Э. з.	$Tl^{205} (p, 3n)$

*- электронный захват

Разнообразие ускоряемых частиц (p , d , He^3 , α) и широкий энергетический диапазон делают циклотрон гибкой системой, позволяющей производить широкий набор РН.

В табл. 1 приводится далеко не полный список РН, получаемых в настоящее время на циклотронах. Причем для многих РН существует несколько реакций, дающих одинаковый продукт. Например, 16, 8, 4 и 9 реакций можно использовать для позитронных излучателей C^{11} , N^{13} , O^{15} и F^{16}

1.3.2 Линейный ускоритель

Идея линейного резонансного ускорения, при котором частица проходит через последовательность промежутков, находящихся под небольшим напряжением, является одной из старейших в области ускорительной физики и относится по крайней мере к 1924 г. Вероятно, это обстоятельство было связано скорее с простотой самого принципа, чем с каким-либо из присущих ему достоинств. Однако метод линейного ускорения действительно обладает единственными в своем роде особенностями, которые обуславливают его важную роль в физике средних и высоких энергий, медицине и некоторых отраслях промышленности.

Основное преимущество линейного ускорителя заключается в простоте ввода и вывода частиц. Эта особенность позволяет использовать источник и инжектор, дающие на входном конце ускорителя интенсивный пучок с малым диаметром и небольшим энергетическим разбросом. Получаемый на выходном конце пучок ускоренных частиц по своей энергетической определенности и плотности намного превосходит пучки, выводимые из циклических ускорителей. К сожалению, по причинам, изложенным ниже, частота повторения рабочих циклов в линейных ускорителях обычно очень мала, так что средний по времени ток не всегда велик. Однако в тех случаях, когда требуются хорошо сфокусированные интенсивные импульсные пучки, этот тип

ускорителя остается непревзойденным. Так, например, ускоритель, дающий электроны с энергией 10 МэВ при токе 100 мА в импульсе длительностью 1 мксек, может быть использован для генерации нейтронов в работах по измерению времени пролета. В синхрофазотронах на энергию в несколько ГэВ в качестве инжекторов почти всегда используются линейные ускорители на энергию 10 МэВ и выше, так как в этих больших установках требуется поддерживать точные условия инжекции, длящейся иногда до миллисекунды.

Таблица 2 – Перечень полезных для ЯМ РН, получаемых на линейных ускорителях

Радионуклид	$T_{1/2}$	Вид распада	Ядерная реакция
Na^{22}	2,6 г	β^-	$\text{Al}^{27} (\text{p}, 9\text{p}3\text{n})$
Mg^{28}	21 ч	β^-	$\text{Cl}^{\text{прир.}} (\text{p}, \text{скал.})$
Fe^{52}	8,3 ч	$\beta^- (57\%), \text{Э. З.}$	$\text{Ni}^{\text{прир.}} (\text{p}, \text{скал.})$
Zn^{65}	244,3 ч	Э. З.	$\text{Ga}^{\text{прир.}} (\text{p}, \alpha\text{n})$
Cu^{67}	61,9 ч	β^+	$\text{Zn}^{67} (\text{p}, 2\text{p})$
Ge^{68}	270,8 д	Э. З.	$\text{Ga}^{\text{прир.}} (\text{p}, 6\text{n}, \text{и } 4\text{n})$ $\text{Br}^{\text{прир.}} (\text{p}, \text{скал.})$
As^{72}	26 ч	β^+	$\text{Br}^{\text{прир.}} (\text{p}, \text{скал.})$
As^{73}	80,3 ч	Э. З.	$\text{Ge}^{\text{прир.}} (\text{p}, \text{xn})$
Sr^{82}	25,4 д	Э. З.	$\text{Rb}^{\text{прир.}} (\text{p}, 6\text{n} \text{ и } 4\text{n})$ $\text{Mo}^{\text{прир.}} (\text{p}, \text{скал.})$
Y^{88}	106,6 д	Э. З.	$\text{Mo}^{\text{прир.}} (\text{p}, \text{скал.})$
Tc^{96}	4,3 д	Э. З.	$\text{Rh}^{103} (\text{p}, 3\text{p}5\text{n})$
Ru^{97}	2,89 д	Э. З.	$\text{Rh}^{103} (\text{p } 2\text{p}5\text{n})$
Xe^{127}	36,4 д	Э. З.	$\text{Cs}^{133} (\text{p}, 2\text{p}5\text{n})$

Это препятствует их применению непосредственно в клиниках, и они используются главным образом в физике высоких энергий.

В настоящее время только три линейных ускорителя в мире (один из них в Дубне) производят заметное количество р/н, в основном тех, реакции получения которых идут при высоких энергиях бомбардируемых частиц. Перечень р/н, нарабатываемых данными ускорителями, представлен в табл. 2, наиболее важными из них являются Sr^{82} и Ge^{68} [5].

1.4 Радионуклиды в ядерной медицине

Ядерная медицина стала междисциплинарной наукой. Получение РН и меченых ими соединений (РФП) занимает важное место в разделах ядерной химии и радиохимии с точки зрения разработки методов получения РН в состоянии без носителя, в необходимой химической форме и с высокой степенью радионуклидной и радиохимической чистоты.

Создание новых способов снятия «образа» (imaging) распределения РН в организме с помощью однофотонной эмиссионной компьютерной томографии и позитронной эмиссионной томографии сделало возможным целый ряд радионуклидных исследований состояния живых организмов, в том числе исследований *in vivo* локальных биохимических реакций и их кинетики.

Радионуклиды, применяемые в ядерной медицине, условно классифицируют по отдельным группам в соответствии с различными отличительными признаками, например, такими как ядерно-физические свойства, химические свойства («органические», «неорганические» нуклиды, газы и т.д.), области применения (диагностика, радиотерапия, изучение метаболизма элементов). Среди них — широко используемые ультракороткоживущие (УКЖ) изотопы C^{11} , N^{13} , O^{15} , F^{18} и ряд других позитронных излучателей; гамма-излучатели I^{123} , Tl^{201} , Ga^{67} , In^{111} ; генераторные нуклиды Rb^{81}/Kr^{81m} , Sr^{82}/Rb^{82} , наработка которых сейчас в мире насчитывает многокюриевые количества. Большой объём исследований последних лет относится к целому ряду перспективных РН. Это Cu^{67} , Tc^{94m} , Ru^{97} , I^{124} , Tb^{149} , At^{211} ; генераторы Ba^{128}/Cs^{128} , W^{178}/Ta^{178} , Ac^{225}/Bi^{213} для ядерной медицины; Al^{26} , Pu^{237} для исследований метаболизма; Tc^{97} , Pu^{236} , Np^{235} , Np^{236} для изучения химических форм их стабилизации и миграции в окружающей среде [6].

2 Методика исследования

2.1 Циклотрон Р-7М

Циклотрон Р-7М с диаметром полюсов магнита 1,2 м является прототипом серии циклотронов У-120 и предназначен для ускорения ионов. Главными преимуществами циклотрона Р-7М является возможность ускорения ионов в широком диапазоне масс от протонов с массой 1 до аргона с массой 40 а.е.м. до любой энергии в диапазоне от 0,9 до 6 МэВ/нуклон для легких ионов и 0,65-1,37 МэВ/нуклон для самых тяжелых из указанных ионов. Ниже представлены технические характеристики циклотрона и параметры ускоренных частиц на внешней мишени.

Таблица 3 – Технические характеристики циклотрона Р-7М (У-120) ТПУ

Изменение энергии	Шаг регулировки 0,5 МэВ
Диаметр полюса, см	120
Конечный радиус ускорения, см	53
Магнитная индукция, кГс	9÷15
Диапазон изменения частоты, МГц	9÷17,2
Амплитуда напряжения на дуанте, кВ	60
Число рабочих каналов	5
Система разводки пучка	всерная

Таблица 4 – Параметры ускоренных частиц на внешней мишени

Ускоряемые частицы	Энергия, МэВ	Ток выведенного пучка ионов, мкА
протоны, p	4,5÷11	50
дейтроны, d	9÷14	50
гелий-3, ^3He	14÷30	20
гелий-4, ^4He	18÷28	50
углерод, ^{12}C	8÷21	10
азот, ^{14}N	7÷18	10

Продолжение таблицы 4

Ускоряемые частицы	Энергия, МэВ	Ток выведенного пучка ионов, мкА
кислород, $^{+5}\text{O}_{16}$	8÷28	10
аргон, $^{+8}\text{Ar}_{40}$	42	0,2

[7]

2.2 Оборудование спектрометрического тракта

Для измерения активности облучённой мишени в настоящей работе использовали коаксиальный германиевый детектор GC1020, относящийся к типу полупроводниковых (твёрдотельных).

Данный тип детекторов представляет из себя германиевый цилиндр с N-контактом на внешней поверхности и P-контактом на поверхности осевого колодца (рисунок 4).

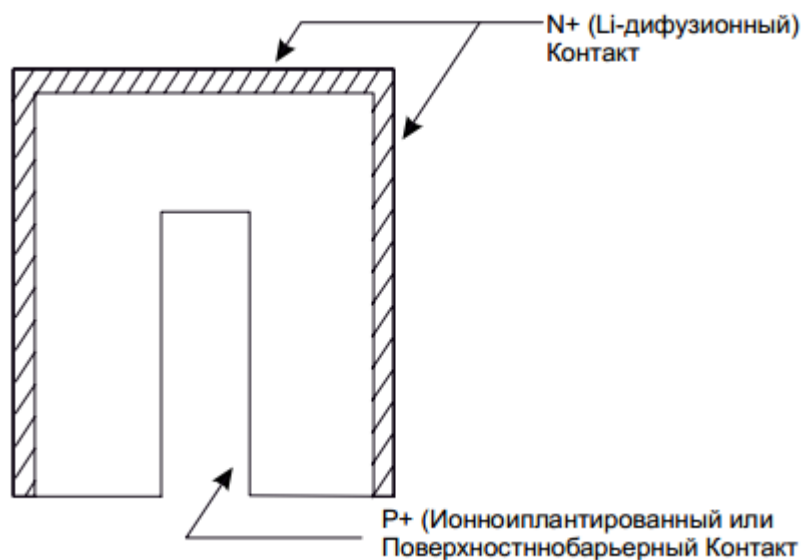


Рисунок 4 – Коаксиальный детектор из осеочистого германия в поперечном разрезе

В результате взаимодействия гамма кванта с кристаллом образуются электронно-дырочные пары, которые перемещаясь под действием

электрического поля к электродам соответствующей полярности, где собирается заряд пропорциональный энергии зарегистрированного фотона. На собирающих электродах зарядочувствительный предусилитель преобразует собранный заряд в импульс напряжения, пропорциональный энерговыделению в детекторе.

Как и все германиевые детекторы, коаксиальный германиевый детектор необходимо охлаждать до рабочей температуры, иначе прибор будет неработоспособен. Диапазон регистрируемых энергий коаксиальных германиевых детекторов от 40 кэВ до 10 МэВ. Благодаря своей низкой емкости такие детекторы обладают низким шумом и отличными характеристиками по разрешению. Коаксиальные детекторы имеют заглубленный центральный контакт, что положительно отражается на эффективности сбора заряда и временном разрешении, сохраняя в то же время энергетическое разрешение такое же, как у детекторов традиционной конструкции.

Технические характеристики выбранного детектора представлены в таблице 4 [8].

Таблица 5 – Технические характеристики коаксиального германиевого детектора GC1020

Характеристика		Значение
Относительная эффективность, %		10
Разрешение ПШПВ (полная ширина пика на половине высоты), кэВ	Для энергии 122 кэВ	1
	Для энергии 1,3 МэВ	2
Отношение ПШДВ/ПШПВ		2
Отношение пик/комpton		34
Диаметр головной части, мм		76 (3.0)

Спектрометрический тракт, используемый в данной работе, состоит из следующих элементов:

- германиевого детектора GC1020;

- портативного МКА с цифровым сигнальным процессором InSpector-2000;
- специализированного программного обеспечения Genie-2000.

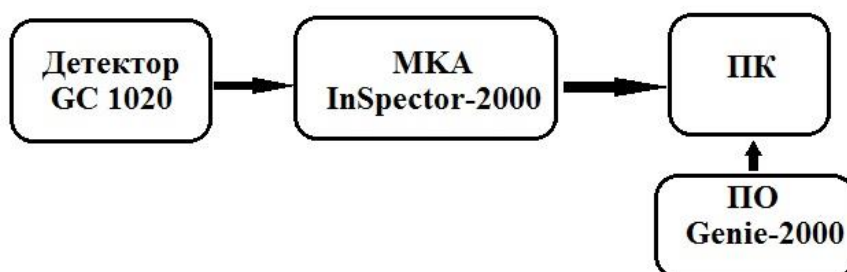


Рисунок 5 – Состав спектрометрического тракта

InSpector-2000 является высокопроизводительной портативной спектрометрической рабочей станцией, построенной на основе цифровых процессоров сигнала (ЦПС). В сочетании с детекторами из ОЧГ, NaI и Cd(Zn)Te спектрометр InSpector-2000 обеспечивает решение любых задач, включая оценку состояния окружающей среды, обеспечение ядерной безопасности, дезактивацию и снятие объектов с эксплуатации, мониторинг технологических процессов. Такие параметры прибора, как максимальная загрузка, разрешение, температурная стабильность находятся на уровне, соответствующем лабораторным системам самого высокого класса. Размеры, вес и продолжительность работы от батарей устанавливают новый стандарт для портативной аппаратуры. Программное обеспечение Genie-2000 предоставляет оператору максимальную гибкость при проведении измерений в полевых условиях. В состав семейства Genie-2000 входит множество ориентированных на специфические задачи программ, специально разработанных для проведения измерений вне лаборатории [9].

Программный комплекс Genie-2000 представляет собой набор и программных средств для набора и обработки спектров с многоканальных анализаторов, предназначенный для работы в среде WINDOWS-XP. Данное программное обеспечение построено по модульному принципу и состоит из

базового программного обеспечения и дополнительных функциональных модулей.

В спектрометрической системе базовое программное обеспечение выполняет следующие основные функции:

- управление многоканальными анализаторами и вывод спектра на экран;
- запись и чтение спектрометрической информации на диск;
- операции со спектром в ручном и автоматическом режимах: калибровка, поиск и предварительная идентификация пиков, расчёт их параметров;
- создание отчётов. Отчёты создаются на основе шаблонов, которые пользователь может модифицировать, исходя из своих требований.

Ядром системы Genie-2000 является модуль, называемый виртуальным диспетчером данных или VDM (Virtual Data Manager). VDM управляет всеми информационными потоками внутри системы. Он отвечает как за связь между файлами данных и МКА, так и за представление информации из них в формате, воспринимаемом другими уровнями программного обеспечения.

Связь VDM с другими уровнями программного обеспечения осуществляется через уровень взаимодействия процессов (или IPC – Inter Process Communication). IPC может работать как на автономном компьютере, так и в сети. Таким образом, аппаратура МКА, подключенная к виртуальному диспетчеру данных одного из компьютеров, становится доступной для управления, отображения или регулировки с любого компьютера сети [10].

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

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

В данной работе выполнено исследование возможности получения нуклидов Sr^{82} и I^{124} для ядерной медицины с использованием циклотрона P-7М ТПУ. Для этого был проведён эксперимент по облучению пучком дейтронов мишени из диоксида теллура природного состава. Обработка результатов проводилась при использовании спектрометрического тракта на основе коаксиального германиевого детектора и программного обеспечения Genie 2000, а также с помощью программы для расчёта выхода ядерной реакции.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования является изыскание возможности получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} для ядерной медицины при эксплуатации циклотрона P-7М

ТПУ, коаксиального германиевого детектора GC1020 и программы для расчёта выхода ядерной реакции.

Таким образом, для анализа потребительского рынка, относимого к категории коммерческих промышленных организаций, к разрабатываемой методике получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} применимы следующие критерии сегментирования: высокая радионуклидная чистота, использование многократной мишени и использование циклотрона средних и низких энергий.




На практике наиболее часто используются 2 метода получения данных нуклидов:

- получение I^{124} с помощью реакций с участием протонов;
- получение Sr^{82} с помощью реакций с участием протонов.

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию оптимальной методики производства нуклидов

Критерии		Получение нуклидов I^{124} и Sr^{82} для ядерной медицины на циклотроне Р-7М ТПУ		
		Высокая радионуклидная чистота	Использование многократной мишени	Использование циклотрона низких и средних энергий
Уровень внедрения	высокий			
	средний			
	низкий			

Условные обозначения:

 Разрабатываемая методика	 Получение I^{124} с помощью реакций с участием протонов	 Получение Sr^{82} с помощью реакций с участием протонов
--	---	---

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Как уже упоминалось выше, в данной работе проведено исследование возможности получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} для ядерной медицины на

циклотроне Р-7М ТПУ. Таким образом, для анализа конкурентных технических решений стоит рассмотреть методы получения данных нуклидов, наиболее часто применяемые на практике:

- получение I^{124} с помощью реакций с участием протонов;
- получение Si^{82} с помощью реакций с участием протонов.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 5. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (9)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

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

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
3. Энергоэкономичность	0,04	4	3	3	0,16	0,12	0,12
4. Надежность	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
5. Уровень шума	0,06	5	5	5	0,03	0,03	0,03
6. Безопасность	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05

Продолжение таблицы 10

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
7. Потребность в материальных ресурсах	0,07	5	5	5	0,35	0,35	0,35
8. Функциональная мощность	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9. Помехоустойчивость	0,04	5	4	4	0,2	0,16	0,16
10. Простота эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,05	5	4	4	0,25	0,20	0,20
2. Стоимость разработки	0,03	5	3	3	0,15	0,09	0,09
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4. Финансирование разработанного метода	0,2	4	3	3	0,8	0,6	0,6
Итого	1				4,34	3,55	3,45

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что разработанные в данной работе методы являются наиболее оптимальными для использования в практических целях. Конкурентные методы получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} используют для производства дорогостоящий ускоритель высоких энергий, кроме того в некоторых реакциях возможно использование только одноразовой мишени, что сильно влияет на конечную стоимость продукта. В свою очередь разработанный метод позволяет использовать более дешёвый ускоритель средних энергий, а также выделение нуклидов из мишени не сопряжено с ее разрушением и проведением многоступенчатого радиохимического передела. Таким образом, осуществление способов получения, описанных в настоящей работе позволяет существенно снизить конечную стоимость РФП, а значит способствовать более широкому применению данного вида РФП в медицине.

4.1.2 FAST-анализ

FAST-анализ – функционально-стоимостной анализ выбранного объекта исследования. Суть метода состоит в том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат. Возникают эти затраты из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда.

Проведение FAST-анализа предполагает шесть стадий:

- выбор объекта FAST-анализа;
- описание главной функции, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
- определение значимости выполняемых функций объектом;
- анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
- построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
- оптимизация функций, выполняемых объектом.

В рамках данной работы в качестве объекта FAST-анализа выступает методика получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} на циклотроне P-7M.

Функционально разработка представлена следующими элементами:

- главной функцией в разработке является процесс облучения мишени из природного диоксида теллура;
- основной функцией является измерение выхода полученного радионуклида;
- вспомогательная функция отведена форвакуумным насосам.

Характеристика функций исследуемого объекта представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Классификация функций системы идентификации

Наименование	Количество	Выполняемая функция	Ранг функции		
			главная	основная	вспомогательная
1 – Мишень	1	Сырьё для получения необходимых радионуклидов	X		
2 – Циклотрон	1	Устройство для ускорения заряженных частиц		X	
3 – ПК и ПО	1	Автоматический расчёт выхода ядерной реакции		X	
4 – Форвакуумные насосы	7	Создание высокого вакуума, необходимого для ускорения заряженных частиц			X

Для оценки значимости функций используется метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В. А. и В.Ф. Глуценко. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции. Результат оценки представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Матрица смежности

Функции	1	2	3	4
1	=	=	>	=
2	=	=	>	=
3	<	<	=	<
4	=	=	>	=
Условные обозначения:	< – менее значимый		= – одинаковый по значимости	> – более значимый

На основе таблицы смежности строится матрица количественных соотношений путем использования следующего правила: 0,5 балла при «<», 1,5 балла при «>», 1 балл при «=». Определение значимости функций производится путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Результат преобразования и расчетов представлен в таблице 13.

Таблица 13 – Матрица количественных соотношений функций

Функции	1	2	3	4	Итого	Значимость	
1	1	1	1,5	1	4,5	0,28	
2	1	1	1,5	1	4,5	0,28	
3	0,5	0,5	1	0,5	2,5	0,16	
4	1	1	1,5	1	4,5	0,28	
Условные обозначения:	< – менее значимый		= – одинаковый по значимости	> – более значимый		16	1

Далее оценивается уровень затрат на выполнение каждой функции. Расчет стоимости функций приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Определение стоимости функций аналитического комплекса

Наименование	Количество	Выполняемая функция	Стоимость, руб	З/п, руб	Себестоимость (вес), руб
1 – Мишень	1	Сырьё для получения необходимых радионуклидов	10000	15000	25000 (0,01)
2 – Циклотрон	1	Устройство для ускорения заряженных частиц	1000000	15000	1015000 (0,66)
3 – ПК и ПО	1	Автоматический расчёт выхода ядерной реакции	35000	15000	50000 (0,03)
4 – Форвакуумные насосы	7	Создание высокого вакуума, необходимого для ускорения заряженных частиц	450000	-	450000 (0,3)
Итого:					1540000 (1)

Данная информация используется для построения функционально-стоимостной диаграммы (приложение Г).

Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью (полезностью) функций и затратами на них.

Явная диспропорция наблюдается для функций 2 и 3, для которых справедливо преобладание затрат над значимостью, а также для функций 1 и 4, где значимость не соответствует отведенным экономическим затратам. Если во втором случае разница обеспечивает снижение бюджета проекта, не критично влияя на качество его проведения в виду второстепенности функций, то в первом случае необходимо обеспечить более рациональный подбор оборудования, либо обосновать выбор используемого, что осуществлено в рамках данной в ВКР согласно предъявляемым требованиям к составу системы.

4.1.3 SWOT-анализ

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

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

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

В таблице 15 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества разработанной методики измерений значительно преобладают над её недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Интерактивная матрица отображена в таблице 15.

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта

		Возможности					Угрозы				
		B1	B2	B3	B4	B5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
Сильные стороны	C1	+	+	+	0	+	0	-	+	0	0
	C2	+	0	+	+	0	0	0	0	-	0
	C3	+	+	+	+	+	-	-	0	-	0
	C4	+	0	+	0	0	+	0	0	+	0
	C5	+	0	+	0	0	+	0	+	+	0

Продолжение таблицы 15

		Возможности					Угрозы				
		B1	B2	B3	B4	B5	У1	У2	У3	У4	У5
Слабые стороны	Сл1	+	+	+	0	+	0	-	-	0	0
	Сл2	0	+	0	0	+	0	0	0	0	0
	Сл3	+	0	+	0	0	-	-	0	-	0
	Сл4	0	+	+	+	+	0	-	-	-	-
	Сл5	0	0	+	+	0	0	-	-	0	-

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа (приложение Д), отображающая перспективы развития предлагаемого продукта с учетом его сильных и слабых сторон под влиянием внешних факторов.

4.2 Инициация проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 4.9.

Радионуклиды I^{124} и Sr^{82} предназначены для диагностики методом ПЭТ. Данные нуклиды представляют интерес для клиник, использующих данный метод, так как из-за нераспространённости данного метода в России нет предприятий, занимающихся разработкой данных препаратов. Кроме того, данная работа является актуальной в связи с планами постройки ПЭТ центра в городе Томске на базе ТПУ.

Таблица 16 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Научный руководитель проекта	Организация учебного процесса при помощи разрабатываемого аналитического комплекса для подготовки
Студент-исполнитель проекта	Участие в организации проекта при обучении в аспирантуре
Лаборатория ПРВ ФТИ ТПУ	Получение экспериментальных данных по выходам реакции $Te^{124}(d,2n)I^{124}$.
ПЭТ центр на базе ТПУ	Внедрение разработки в диагностическую деятельность

Необходимо представить информацию об иерархии целей проекта и критериях достижения целей. Цели и результаты проекта представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Цели и результаты проекта

Цель проекта	Разработка методики оптической идентификации сварных соединений
Ожидаемые результаты проекта	Установление возможности получения нуклидов I^{124} и Sr^{82} для ядерной медицины на циклотроне Р7-М ТПУ
Критерии приемки результата проекта	Возможность получения данных радионуклидов, проведение эксперимента, расчёт выхода
Требования	Высокая точность работы программы
	Получение выхода, согласующегося с результатами эксперимента
	Возможность получения нуклидов с использованием циклотрона Р-7М
	Возможность многократного использования мишени

4.3 Планирование управлением научно-техническим проектом

Планирование управления проектом состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей. План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта.

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. В приложении Е представлена ИСР разрабатываемой системы идентификации сварных соединений.

4.3.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Информация по событиям проекта представлена в таблице 18.

Таблица 18 – Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	1.02.2016	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2016	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	5.02.2016	
4	Подбор и изучение материалов по теме	10.02.2016	Отчёт
5	Календарное планирование работ	12.02.2016	План работ
6	Изучение особенностей получения нуклидов Si^{82} и I^{124}	13.02.2016	Отчёт
7	Написание программы расчёта выхода ядерной реакции	15.02.2016- 15.04.2016	Отчёт
8	Определение режимов облучения мишени	01.03.2016	Отчёт
9	Проведение экспериментов	02.03.2016- 15.03.2016	Отчёт
10	Обобщение и оценка результатов	30.03.2016	Отчёт
11	Составление пояснительной записки	14.02.2016- 25.05.2016	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.05.2016	
13	Подготовка к защите	27.05.2016- 20.06.2016	

4.3.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	2	1.02.2016	3.02.2016	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	2	3.02.2016	5.02.2016	Руководитель
3	Выбор направления исследований	5	5.02.2016	10.02.2016	Руководитель, студент
4	Подбор и изучение материалов по теме	2	10.02.2016	12.02.2016	Студент
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2016	13.02.2016	Руководитель, студент
6	Изучение особенностей получения нуклидов Sr ⁸² и I ¹²⁴	1	13.02.2016	14.02.2016	Студент
7	Написание программы расчёта выхода ядерной реакции	60	15.02.2016	15.04.2016	Студент
8	Определение режимов облучения мишени	2	01.03.2016	02.03.2016	Студент, Оператор

Продолжение таблицы 19

№	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
9	Проведение экспериментов	14	02.03.2016	15.03.2016	Студент, Оператор
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2016	30.03.2016	Руководитель, студент
11	Составление пояснительной записки	102	14.02.2016	25.05.2016	Студент
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.05.2016	26.05.2016	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	24	27.05.2016	20.06.2016	Студент

Календарный график проекта, построенный при помощи диаграмм Ганта, представлен в приложении Ж.

4.4 Бюджет научного исследования

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

- материальные затраты;

- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.4.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле (10):

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (10)$$

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

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

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов. Примем k_T равным 0,2.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия	–	526 кВт·ч	2,05	1078,3
Мишень		1 шт	10000	10000
Бумага	SvetoCopy	110	0,38	41,8
Печать на листе А4	–	110	1,5	165
Ручка	Pilot BPS-GP	3	50	150
Доступ в интернет	–	4 месяца	350	1400
Всего за материалы				12835
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье С _м				12835

4.4.2 Расчёт затрат на специальное оборудование

В данной работе к спецоборудованию, необходимому для организации работ по созданию комплекса, относятся циклотрон, полупроводниковый детектор и персональный компьютер. Стоимость для каждого типа оборудования представлена в таблице 4.6. Срок службы циклотрона составляет 100 лет, детектора – 10 лет, персонального компьютера – 5 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле (11):

$$C_{\text{аморт}} = \frac{C_{\text{об}}}{T}, \quad (11)$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

По результатам расчетов получаем (12):

$$C_{\text{аморт}} = \frac{1000000 + 1300000 + 35000}{36500 + 3650 + 1825} = 55,6 \text{ руб./дн.} \quad (12)$$

Оборудование использовалось в течение 2 дней, согласно этому рассчитаем затраты на оборудование (13):

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 55,6 \cdot 2 = 111,2 \text{ руб.} \quad (13)$$

Таким образом, общие амортизационные затраты проекта составляют 111,2 рублей.

4.4.3 Расчет основной заработной платы

Расчет основной заработной платы включает расчет оплаты руководителя и студента-исполнителя. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада. Данные по заработной плате приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет заработной платы по окладу

Исполнители работ	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
Руководитель	593,94	14584,32
Студент	189,43	4500

Статья заработной платы включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату (14):

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (14)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле (15):

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (15)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (16):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (16)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,24$ месяца, 5-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 22).

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней:	89	98
выходные дни;	81	90
праздничные дни.	8	8
Потери рабочего времени, дни:		
отпуск;	0	0
невыходы по болезни.		
Действительный годовой фонд рабочего времени $F_{\text{д}}$, дни	276	267

Месячный должностной оклад работника (17):

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (17)$$

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

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 23.

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	З _{тс} , руб.	к _{пр}	к _д	к _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	Т _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	14584,32	0,3	0,2	1,3	28439,42	593,94	9	5345,46
Студент	4500	-	-	-	5850	189,43	89	16859,27

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

- иные выплаты; районный коэффициент.

4.4.4 Расчет дополнительной заработной платы

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле (18):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (18)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы. Для руководителя и лаборанта примем $k_{\text{доп}}$ равным 0,15, для студента коэффициент не учитывается.

Результат расчета дополнительной заработной платы представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.
Руководитель	5345,46	801,82
Студент	16859,27	0

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (19):

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (19)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 25. Отчисления во внебюджетные фонды не предусмотрены для стипендиальных начислений.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	5345,46	801,82
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	27,1	
Отчисления, руб.	1665,91	

На 2016 год установлен размер страховых взносов равный 30%. Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году вводится пониженная ставка – 27,1%.

4.4.6 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (20)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 25-35 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{\text{накл}} = 30 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (31777,6 + 4766,64) = 10963,3 \text{ руб.} \quad (21)$$

4.4.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

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.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат научного исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Руководитель	Студент
Материальные затраты	12835	
Затраты по основной заработной плате исполнителей	5345,46	16859,27
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	801,82	0
Затраты на специальное оборудование	111,2	
Затраты на отчисления во внебюджетные фонды	1665,91	0
Накладные расходы	1844,18	0
Затраты	9657,37	16859,27
Итого:	39462,84	

4.4.8 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически. У каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель).

Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 16.

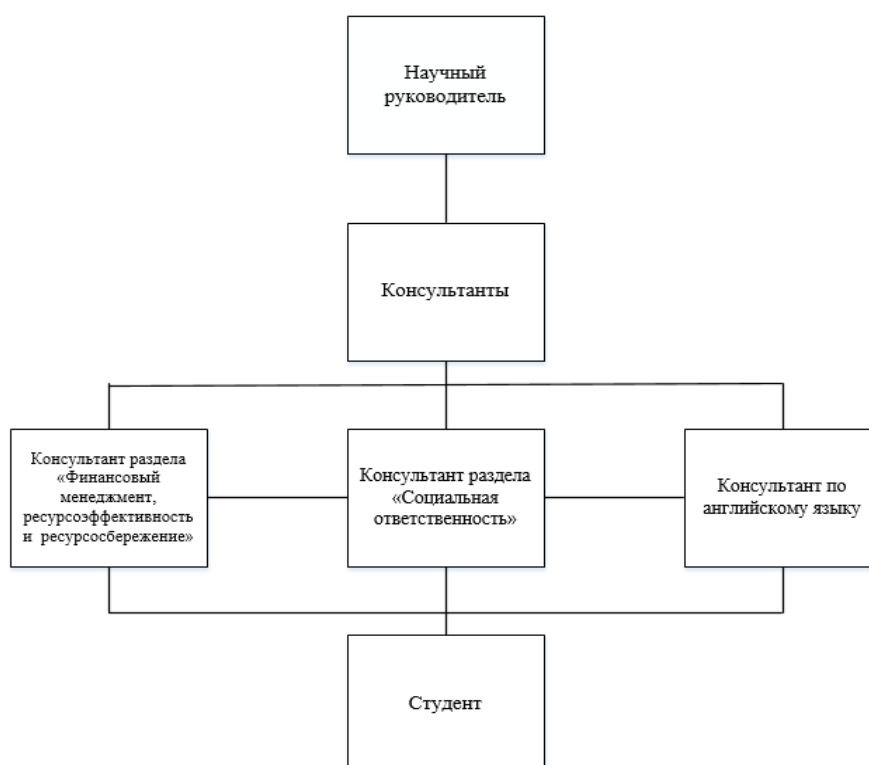


Рисунок 16 – Организационная структура работы

4.4.9 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 27.

Таблица 27 – Матрица ответственности

Этап проекта	Научный руководитель	Консультант «Финансовый менеджмент»	Консультант «Социальная ответственность»	Консультант по иностранному языку	Студент
Выбор направления исследований	О				
Разработка технического задания на выполнение ВКР	О				
Утверждение технического задания ВКР	О				
Календарное планирование работ	О				
Подбор и изучение материалов по теме	С				
Сбор исходных данных для формирования требований к разработке методики					И
Изучение особенностей получения нуклидов Sr^{82} и I^{124}					И
Написание программы расчёта выхода ядерной реакции	С				И
Определение режимов облучения мишени	С				И
Проведение экспериментов	С				И

Продолжение таблицы 28

Этап проекта	Научный руководитель	Консультант «Финансовый менеджмент»	Консультант «Социальная ответственность»	Консультант по иностранному языку	Студент
Составление пояснительной записки		С	С	С	И
Проверка соответствия оформления пояснительной записки требованиям ГОСТ	С				И
Подготовка к защите					И
Выбор направления исследований					И
Разработка технического задания на выполнение ВКР	О				
Утверждение технического задания ВКР					И
Условные обозначения:	О – ответственный;		И – исполнитель;		С – согласующий.

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта;
- утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (в данной работе не предусмотрен);

– согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

4.5 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как (22):

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (22)$$

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

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

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

Данные для расчета интегрального финансового показателя представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Расчет интегрального финансового показателя

Стоимость, руб.		Интегральный финансовый показатель разработки	
Φ_{\max}	77880		
$\Phi_{\text{проект}}$	39462,84	Проект	0,5
$\Phi_{\text{аналог1}}$	77880	Аналог 1	1
$\Phi_{\text{аналог2}}$	42152	Аналог 2	0,54

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом (23):

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i, \quad (23)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегральных показателей приведен в таблице 29.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

№	Вид работ	Весовой коэффициент	Баллы		
			Проект	Аналог 1	Аналог 2
1	Повышение производительности труда пользователя	0,21	5	5	3
2	Удобство в эксплуатации	0,09	5	3	3
3	Помехоустойчивость	0,01	4	3	3
4	Энергоэкономичность	0,04	5	4	5
5	Надежность	0,08	5	5	5
6	Уровень шума	0,06	4	4	3
7	Безопасность	0,02	5	5	4
8	Потребность в ресурсах памяти	0,15	4	3	4
9	Функциональная мощность	0,08	5	4	3
10	Качество интеллектуального интерфейса	0,15	5	5	5
11	Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	5
Итого:		1	4,73	4,19	3,9

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{испi}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (24):

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{финr}} \quad (24)$$

Параметры эффективности разработки представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Проект	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,5	1	0,54
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,73	4,19	3,9
Интегральный показатель экономической эффективности	9,46	4,19	7,2

На основании рассчитанных показателей наблюдаем, что разрабатываемый проект обладает наиболее оптимальным вариантом с позиции ресурсного, финансового и экономического сбережения. Известно, что Аналог 1 при разработке не учитывал ресурсосберегательную сторону, поскольку проект не был ограничен средствами, что демонстрирует низкий интегральный показатель экономической эффективности. С другой стороны, сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта говорит о менее успешной реализацией проекта в плане приоритетного повышения надежности и функциональности по сравнению с исследованием в рамках данной ВКР. Таким образом, разрабатываемая методика является наиболее показательной с точки зрения баланса ресурсов.

Список публикаций студента

1. Седнев Д.А., Салодкин С.С. Обзор алгоритмов дактилоскопической идентификации [текст]/ Седнев Д.А., Салодкин С.С. // Сборник тезисов V школы-конференции молодых атомщиков Сибири / НИ ТПУ, Томск. – Томск, 2014. – С. 80.
2. Головков В.М., Салодкин С.С. Исследование возможности получения стронция-82 и йода-124 на циклотроне Р7-М ТПУ. [текст]/Головков В.М., Салодкин С.С. // Сборник тезисов VI школы-конференции молодых атомщиков Сибири / НИ ТПУ, Томск. – Томск, 2014. – С. 80.
3. Головков В.М., Салодкин С.С. Оценка возможности получения стронция-82 и йода-124 на циклотроне Р7-М. [текст]/Головков В.М., Салодкин С.С. // Сборник тезисов научной сессии НИЯУ МИФИ / НИЯУ МИФИ, Северск. – Северск, 2016. – С. 25.
4. Салодкин С.С., Исаев В.В., Головков В.М. Исследование возможности получения нуклидов Sr^{82} и I^{124} для ядерной медицины на циклотроне Р-7М ТПУ. [текст] / Салодкин С.С., Исаев В.В., Головков В.М. // Сборник тезисов VIII Международной научно-практической конференции «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» / НИ ТПУ, Томск. –Томск, 2016. – С. 25.