

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

Школа ИЯТШ

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Измерение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка при помощи излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале

УДК 539.124.18:539.1.074.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Данилова Ирина Борисовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Стучебров С.Г.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения соц.-гум. наук	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент Отделения яд.-топливного цикла	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ (КОМПЕТЕНЦИИ ВЫПУСКНИКОВ)

Планируемые результаты обучения

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

<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
P8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
P9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
P10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.

P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов.
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработке способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

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

Школа ИЯТШ

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Бычков П.Н.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Б	Данилова Ирина Борисовна

Тема работы:

Измерение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка при помощи излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2199/с от 28.03.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2018 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Результатом работы будет способ, позволяющий измерять плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале, без использования расходных материалов с пространственным разрешением полученных результатов 1×1 мм.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов .	Обзор и анализ литературы по данной проблематике; разработка способа измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка; проведение эксперимента по исследованию плотности потока электронов в поперечном сечении пучка; сравнение экспериментальных результатов, полученных разными способами, формулирование выводов.
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	11.03.2018 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Стучебров С.Г.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Данилова Ирина Борисовна		

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

Школа ИЯТШ

Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Уровень образования Бакалавр

Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

Период выполнения осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.03.18	Составление и утверждение технического задания	3
05.04.18	Подбор и изучение материалов по теме	4
11.04.18	Выбор направления исследования	2
28.04.18	Проведение экспериментов	17
16.05.18	Анализ и описание результатов	11
30.05.18	Подготовка к защите ВКР	3

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Стучебров С.Г.	к.ф.-м.н.		

СОГЛАСОВАНО:

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Б	Данилова Ирина Борисовна

Школа	Ядерных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Ядерно-топливного цикла
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика атомного ядра и частиц

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> – требования охраны труда при работе на ПЭВМ; – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – радиационная безопасность.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные).
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2018
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент Отделения яд.-топливного цикла	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Данилова Ирина Борисовна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Б	Данилова Ирина Борисовна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ЯТЦ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика атомного ядра и частиц

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Затраты на амортизацию оборудования и эл./энергию 42514,84 руб. Основная заработная плата исполнителей темы 61722,24 руб. Дополнительная заработная плата исполнителей темы 3569,93 руб. Отчисления во внебюджетные фонды 17694,17 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на промышленную электроэнергию 5,8 за 1 кВт Районный коэффициент города Томска -1,3.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Размер страховых взносов - 30%. Пониженная ставка - 27,1%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка конкурентоспособности технических решений Матрица SWOT График проведения и бюджет НИ Диаграмма Ганта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.02.2018
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения соц.-гум. наук	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Данилова Ирина Борисовна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 80 с., 32 рис., 15 табл., 33 источника.

Ключевые слова: плотность потока частиц, диагностика пучков, электронный пучок, излучение Вавилова-Черенкова, оптический фибер, микротрон.

Объектом исследования является метод измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка при помощи излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале.

Цель работы – разработка способа измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка.

В процессе исследования проводилось: изучение технической литературы, моделирование оптимального количества сканирований поперечного сечения пучка электронов в программном пакете MatLab, получение и обработка экспериментальных данных с помощью металлической полоски и оптического фибера, сравнение и анализ результатов.

В результате исследования был предложен метод, позволяющий измерять распределение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка без использования расходных материалов с пространственным разрешением полученных результатов 1×1 мм.

Степень внедрения: в настоящее время предмет исследования находится в стадии разработки.

Область применения: в медицине, научных исследованиях.

Экономическая эффективность/значимость работы на данный момент заключается в возможности минимизировать затраты на приобретение устройств диагностики электронных пучков.

В будущем планируется оптимизировать устройство сканирования и апробировать предлагаемый метод измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

ускорители электронов: технические устройства, предназначенные для вывода пучков заряженных частиц, ускоряющихся под действием электромагнитных полей.

электронный пучок: поток электронов, которые движутся по близким траекториям в одном направлении.

синограмма: двумерное изображение одномерных проекций объекта как функции проекционного угла.

оптический фибер: оптоволоконный кабель, состоящий из световодов, используемых для передачи световых сигналов посредством полного внутреннего отражения.

Оглавление

Введение.....	15
1 Литературный обзор	18
1.1 Электронный пучок и его свойства.....	18
1.2 Источники электронных пучков.....	19
1.2.1 Бетатрон	19
1.2.2 Микротрон.....	20
1.2.3 Линейный ускоритель	21
1.3 Устройства диагностики пучка электронов	22
1.4 Излучение Вавилова-Черенкова.....	24
2 Метод измерения распределения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе математической реконструкции	26
2.1 Предлагаемый метод.....	26
2.2 Оптимальные параметры.....	27
2.2.1 Преобразование Радона.....	27
2.2.2 Программный пакет MatLab	28
2.2.3 Реконструкция простого изображения	29
2.2.4 Реконструкция простого распределения	31
2.2.5 Реконструкция распределения Гаусса	33
2.3 Оборудование	36
2.3.1 Микротрон ТПУ	36
2.3.2 Цилиндр Фарадея.....	36
2.3.4 Рентгенографические пленки Gafchromic EBT2	36
2.3.3 Устройство сканирования с металлической полоской	37
2.4 Эксперимент	38
3 Метод измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка при помощи излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале	40
3.1 Предлагаемый метод.....	40

3.2 Оборудование	41
3.2.1 Микротрон ТПУ	41
3.2.2 Кремниевый фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).....	41
3.2.3 Оптический фибер	42
3.2.4 Рентгенографические пленки Gafchromic EBТЗ	42
3.3 Эксперимент	43
3.3.1 Измерения с использованием оптического фибера.....	43
3.3.2 Измерения с использованием дозиметрических пленок	45
3.3.3 Анализ и сравнение полученных результатов.....	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	48
4.1 Предпроектный анализ	48
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	49
4.1.2 SWOT-анализ	51
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	53
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	53
4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	54
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	57
4.3.1 Расчет материальных затрат	57
4.3.2 Расчет затрат на оборудование для экспериментальных работ.....	58
4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей НТИ	59
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды.....	60
4.3.5 Накладные расходы	61
4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	62
4.5 Определение ресурсной эффективности исследования.....	62
5 Социальная ответственность	65
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	65
5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного воздействия и устранению их влияния при работе на ПК и микротроне	66
5.2.1 Организационные мероприятия	66

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПК.....	67
5.2.3 Условия безопасной работы	69
5.3 Радиационная безопасность	71
5.4 Электробезопасность	73
5.5 Пожарная и взрывная безопасность.....	74
Заключение	76
Список использованных источников	78

Введение

Электронные пучки широко применяются в медицине и других прикладных науках. С каждым днем появляется все больше приборов, основанных на использовании электронных пучков. Эффект торможения электронов положен в основу получения рентгеновского излучения, на основе которого сделано множество рентгеновских трубок и аппаратов. Тепловой эффект электронов, заключающийся в том, что при попадании высокоэнергичных электронов на поверхность какого-либо тела происходит его нагрев, используют для плавки сверхчистых металлов и во многих других задачах.

Существуют различные методы определения характеристик электронного пучка. Основное внимание в них уделяется геометрическим параметрам, таким как диаметр, угол сходимости. Однако они не дают полного представления о пространственных характеристиках электронного потока. Для этого необходимо измерять распределение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка. Существующие методы для измерения данной характеристики обладают рядом недостатков. Методы, основанные на использовании распределенных в исследуемой плоскости электронных детекторов, имеют низкое разрешение [1]; основанные на использовании дозиметрических пленок и люминесцентных, ограничены дозовыми характеристиками пучка [2]. Существует множество других методов, в основе которых, чаще всего лежит использование каких-либо одноразовых элементов, изменяющих свои характеристики в процессе облучения пучком [3]. Применение расходных материалов влечет за собой ряд проблем, таких как необходимость контроля, их наличия и контроля характеристик материалов в разных партиях изготовления. Существующие проволочные сканеры используются для измерения размеров пучка в двух направлениях: горизонтально и вертикально в плоскости перпендикулярно его оси. Такие методы не позволяют провести оценку распределения плотности потока

электронов в поперечной плоскости пучка, при этом для регистрации изменения тока пучка в этом методе необходимо использовать дополнительные детекторы, например цилиндр Фарадея, в котором происходит полная потеря частиц. Для многих задач, например при проведении лучевой терапии в медицинских целях, используют поле заряженных частиц сложной формы, которое имеет неравномерное распределение плотности потока электронов в поперечной плоскости. Очевидно, что в таких случаях измерять только размеры пучков не достаточно. Таким образом, имеется необходимость улучшения имеющихся методов, позволяющих измерять распределение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка.

Таким образом, целью данной бакалаврской работы стала разработка способа измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка.

Для достижения поставленной цели были выполнены такие задачи:

- изучение технической литературы;
- разработка концепции метода на основе математической реконструкции;
- определение оптимального количества сканирований и угол их смещения для реконструкции поперечного профиля пучка электронов;
- создание устройства сканирования электронного пучка;
- проведение эксперимента по исследованию плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе математической реконструкции при помощи металлической полоски и обработка полученных экспериментальных данных;
- разработка способа измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале;
- проведение эксперимента по исследованию плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе излучения Вавилова-

Черенкова, генерируемого в оптическом фибре и обработка полученных экспериментальных данных;

– проведение эксперимента по исследованию плотности потока электронов в поперечном сечении пучка с использованием рентгенографических пленок Gafchromic и обработка полученных экспериментальных данных;

– анализ результатов, полученных с использованием оптического фибера и рентгенографических пленок Gafchromic.

1 Литературный обзор

1.1 Электронный пучок и его свойства

Электронные пучки – это поток одинаково направленных быстро летящих электронов [4]. Они могут быть образованы в разнообразных газоразрядных устройствах, так же их можно получить с помощью электронной лампы. Достаточно сделать в аноде отверстие, благодаря чему только часть ускоренных электронов пройдет через отверстие и создаст электронный пучок. Чтобы знать, сколько электронов прошло через отверстие, необходимо поставить между анодом и катодом дополнительный электрод, который и будет фиксировать количество прошедших электронов.

Свойства электронных пучков:

- электронные пучки нагревают тела, при попадании на их поверхность, поэтому это свойство используют для плавки сверхчистых металлов;
- при попадании пучка электронов на твердые тела или жидкие вещества, последние начинают светиться, такие тела или вещества называют люминофоры;
- пучки электронов отклоняются электрическим полем, поэтому если пучок поместить между обкладками плоского конденсатора, то электроны сместятся в сторону положительно заряженной пластины;
- пучки электронов отклоняются магнитным полем, поэтому если пучок поместить над северным полюсом магнита, то он отклонится в левую сторону, и наоборот;
- при торможении быстрых электронов будет возникать рентгеновское излучение, которое широко используется в рентгеновских трубках и аппаратах, сделанных на их основе.

К важным параметрам электронных пучков относятся ток, поперечный профиль, угловая расходимость, длина и энергия пучка.

1.2 Источники электронных пучков

Электронные пучки широко применяются в медицине и других прикладных науках. С каждым днем появляется все больше приборов, основанных на использовании электронных пучков. Электронные ускорители применяются при дефектоскопии, то есть для контроля качества материалов, заготовок и изделий большой толщины с целью обнаружения дефектов их строения. В настоящее время во всем мире активно развивается ядерная медицина, основанная на использовании электронных ускорителей. Они широко применяются в лучевой терапии злокачественных новообразований, неопухолевых заболеваний, а также при диагностике и терапии в различных областях научной и практической медицины (онкологии, кардиологии, урологии и др.).

К основным электронным ускорителям относятся: бетатрон, микротрон и линейный ускоритель.

1.2.1 Бетатрон

Первый циклический ускоритель электронов бетатрон был открыт в 1940 году Д. Керстом. Бетатрон является индукционным ускорителем, в котором энергия электронов увеличивается за счет вихревого электрического поля, создаваемого изменяющимся магнитным потоком, направленным перпендикулярно к плоскости орбиты частиц. Магнитное поле нарастает и в нем по круговой орбите двигаются электроны. Для того чтобы удержать электроны на орбите, подбирается соотношение между величинами магнитного поля на орбите и внутри неё. Первая четверть периода магнитного поля является рабочим циклом бетатрона [5].

Бетатрон является циклическим индукционным ускорителем электронов, ускорение в котором осуществляется возрастающим во времени вихревым электрическим полем [6]. Он представляет собой большой электромагнит, между полюсами которого расположена кольцевая вакуумная камера (рисунок 1).

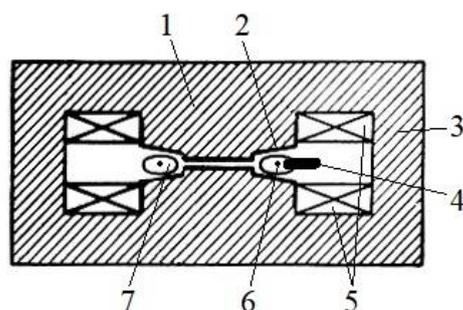


Рисунок 1 – Схематический разрез бетатрона:

- 1 – магнитный сердечник; 2 – полюсные наконечники; 3 – магнитопровод;
 4 – инжектор; 5 – обмотки электромагнита; 6 – пучок электронов;
 7 – вакуумная камера

Электроны, которые достигли наибольшей энергии, выводятся из камеры или направляются на специальную мишень внутри камеры, называемую тормозной. Торможение электронов в этой мишени в кулоновском поле ядер и электронов приводит к возникновению электромагнитного тормозного излучения.

Бетатроны применяются для изучения различных фотоядерных процессов, проведения облучения в медицине, а также как промышленный источник рентгеновского излучения высокой энергии.

1.2.2 Микротрон

В 1944 году В. Векслер предложил концепцию микротрона, циклического резонансного ускорителя, в котором электроны многократно ускоряются импульсами высокочастотного электрического поля в постоянном однородном магнитном поле с переменной кратностью [7].

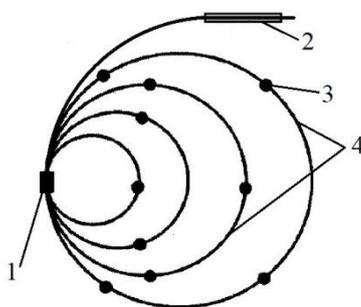


Рисунок 2 – Схема микротрона:

- 1 – ускоряющий промежуток; 2 – устройство вывода пучка;
 3 – магнит, 4 – орбиты

В микротроне (рисунок 2) используется один ускоряющий промежуток, расположенный внутри вакуумной камеры [6]. Он необходим для того, чтобы за период обращения электрона электромагнитное поле успело сделать целое число колебаний. При каждом обороте электроны получают энергию $\approx 0,5$ МэВ и попадают в резонатор точно в момент ускорения на каждом витке. Электронные траектории в микротроне представляют собой систему увеличивающихся по мере увеличения энергии окружностей, имеющих общую точку, в которой располагается ускоряющий промежуток [8]. Энергии электронов в таких микротронах обычно не превышают 30 МэВ и ограничиваются размерами постоянного магнита и возрастающими требованиями к однородности его поля при увеличении габаритов ускорителя.

1.2.3 Линейный ускоритель

Линейные ускорители – ускорители заряженных частиц, в которых частица движется по прямолинейной траектории. Их можно разбить на две категории – ускорители прямого действия и собственно линейные ускорители.

Наиболее известным ускорителем прямого действия является электростатический генератор Ван-де-Граафа, где электроны ускоряются непосредственно за счет одно- или двукратного прохождения разности потенциалов, достигающей 20 миллионов вольт. Для достижения энергий больших, чем энергия частиц 40 – 50 МэВ, используют линейные ускорители.

В линейных ускорителях (рисунок 3) частица подвергается многократному ускорению, пролетая сквозь ряд цилиндрических трубок, присоединенных к электрическому генератору высокой частоты. Пучок вдоль оси трубок, внутри каждой трубки электрическое поле равно нулю, а соседние трубки имеют противоположную полярность [9]. Следовательно, поле, ускоряющее частицы, находится между трубками.

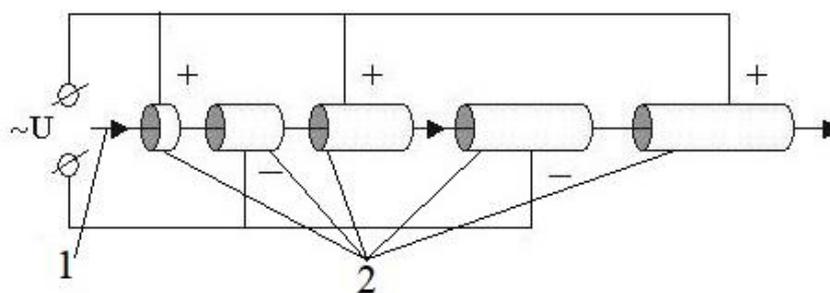


Рисунок 3 – Схема линейного ускорителя:

1 – пучок частиц; 2 – трубки дрейфа

Линейные ускорители нашли широкое применение в медицине. Они используются для проведения наружной радиотерапии при злокачественных новообразованиях любых тканей и органов, обеспечивая доставку высокоэнергетических рентгеновских лучей к опухоли. Также линейный ускоритель применяется при лучевой терапии, радиотерапии с модулированной интенсивностью, радиотерапии под визуальным контролем.

В основе работы линейного ускорителя лежат микроволновые технологии [10]. В линейном ускорителе происходит ускорение электронов, которые затем сталкиваются с препятствием из тяжелого металла, что сопровождается выработкой высокоэнергетического рентгеновского излучения.

1.3 Устройства диагностики пучка электронов

В настоящее время существует множество устройств, позволяющих измерять параметры электронных пучков. Все разнообразие таких устройств, диагностирующих пучок электронов, можно разделить на три типа по физическим принципам, лежащим в основе работы датчика [11]:

- 1) электромагнитные датчики, сигналы которых формируются электромагнитными полями, индуцированными пучком;
- 2) оптические датчики, регистрирующие излучение пучка в видимом, ультрафиолетовом или рентгеновском диапазонах;
- 3) контактные датчики, непосредственно взаимодействующие с частицами пучка.

К оптическим датчикам относятся устройства, основанные на использовании синхротронного излучения, широко применяющиеся как для визуального наблюдения (телевизионная камера), так и для измерения продольных и поперечных размеров пучка частиц (диссектор, стрик-камера). Принцип работы таких устройств основан на генерации синхротронного излучения в поле поворотных магнитов. К преимуществам такого подхода можно отнести высокую чувствительность, хорошее пространственное и временное разрешение детекторов, а также минимальное воздействие на ускоренные частицы. Однако использование таких датчиков предполагает наличие специального участка с окном для вывода излучения в вакуумной камере ускорителя, поэтому данные устройства используются для контроля параметров пучка в каждом цикле ускорения.

Электромагнитный датчик пучка заряженных частиц представляет собой систему проводников, в которых пролетающий пучок, отдавая часть своей энергии, возбуждает электромагнитное поле, являющееся сигналом. Величина и временная зависимость поля несут информацию об интенсивности пучка и его геометрических характеристиках, которая может быть извлечена путем детектирования сигнала. Возбуждаемое поле, в зависимости от устройства системы, может иметь характер поля излучения, стоячих или бегущих волн. Данные детекторы не предполагают полного или частичного разрушения пучка и имеют малые габаритные размеры. Однако они позволяют измерять достаточно ограниченный набор характеристик пучков, в который не входит распределение плотности потока электронов в поперечной плоскости.

Принцип работы большинства контактных датчиков предполагает непосредственное взаимодействие частиц с рабочим материалом детектора. Такие датчики обычно используются для однопролетной диагностики в каналах транспортировки пучков. К их преимуществам можно отнести высокое разрешение, относительно малые габариты устройств, но такие датчики оказывают разрушающее воздействие на пучок. Также к недостаткам

контактных датчиков можно отнести то, что они основаны на использовании материалов, которые меняют свои свойства при взаимодействии с высокоэнергетическими электронами, например пластины или пленки. Данные методы обладают высоким разрешением, однако наличие расходных материалов не только повышает эксплуатационную стоимость данных устройств, но и требуют контроля параметров сменных детекторов.

1.4 Излучение Вавилова-Черенкова

Излучение Вавилова-Черенкова возникает, когда заряженная частица движется в диэлектрической среде с постоянной скоростью, превышающей фазовую скорость распространения электромагнитных волн в среде [12]. На рисунке 4 показана последовательность сферических волновых фронтов движущейся частицы при $v < c$ и $v > c$, где v – скорость частицы, c – скорость света в среде [13].

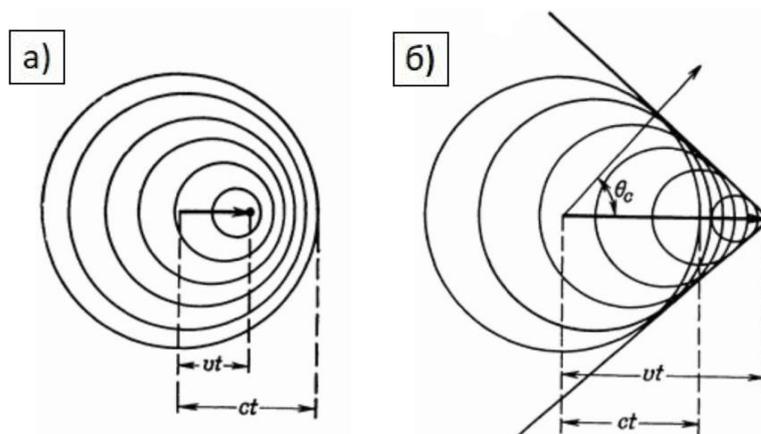


Рисунок 4 – Излучение Вавилова-Черенкова:

а) – $v < c$; б) – $v > c$

При $v > c$ волновые сферы пересекаются, их общая волновая поверхность представляет собой конус. Нормали к образующим конуса определяют волновые векторы, то есть направления движения излучения. Угол излучения Вавилова-Черенкова можно определить по показателю преломления среды (n) и энергии (E) заряженной частицы следующим образом:

$$\theta = \arccos\left(\frac{c}{nv}\right) = \arccos\left(\frac{1}{n\beta}\right) = \arccos\left(\frac{1}{n \sqrt{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{E}{m_0 c^2}\right)^2}}}\right). \quad (1)$$

Таким образом, максимальный угол, под которым может наблюдаться чернковское излучение, равен:

$$\theta_{max} = \arccos\left(\frac{1}{n}\right). \quad (2)$$

Спектр излучения Вавилова-Черенкова непрерывен от ультрафиолетовой до инфракрасных областей. Интенсивность излучения изменяется с длиной волны (λ), она обратно пропорциональна λ^3 . Следовательно, интенсивность излучения в ультрафиолетовом и в синем спектральном диапазоне больше, чем в инфракрасном.

Энергия частицы, преобразовываемая в энергию излучения Вавилова-Черенкова, мала по сравнению с энергией, которую она тратит на ионизацию и возбуждение атомов среды. Число фотонов на 1 см пути варьируется от нескольких единиц (λ_1) до нескольких сотен (λ_2), и определяется по формуле:

$$\frac{dN}{dx} = 2\pi a Z_1^2 \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_2} \left(1 - \frac{1}{\beta^2 n^2(\bar{\lambda})}\right), \quad (3)$$

где $\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \ln \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$;

a – постоянная тонкой структуры.

Излучение Вавилова-Черенкова можно наблюдать визуально и регистрировать с использованием фотоплёнки или фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), преобразующего энергию излучения в электрический сигнал. На цветной фотоплёнке, расположенной перпендикулярно направлению движения частицы, излучение, выходящее из радиатора, имеет вид кольца сине-фиолетового цвета.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Сегодня на практике для измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка применяются различного вида контактные датчики, например, рентгенографические пленки (K1), матричные детекторы, проволочные сканеры (K2). Такие детекторы имеют ряд недостатков, связанных с наличием расходных материалов, с необходимостью использования дополнительных детекторов, а также с низким пространственным разрешением существующих датчиков. Поэтому разработка метода измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка при помощи излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале (Φ), позволит проводить измерения без использования расходных материалов с высоким пространственным разрешением. Это потенциально делает предлагаемый метод более удобным и менее дорогостоящим, чем большинство существующих аналогов.

Данный анализ проведен с помощью оценочной карты (таблица 2). Для этого отобрано две конкурентные разработки. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2, подбирали исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Время наработки данных	0,2	5	5	3	1	1	0,6
2. Помехоустойчивость	0,07	3	3	3	0,21	0,21	0,21
3. Безопасность	0,2	5	5	4	1	1	0,8
4. Потребность в ресурсах памяти	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
5. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	5	4	4	0,3	0,24	0,24
6. Простота в эксплуатации	0,09	4	5	3	0,36	0,45	0,27
7. Наличие дорогостоящего оборудования	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,03	5	5	2	0,15	0,15	0,06
2. Цена материала	0,1	5	2	1	0,5	0,2	0,1
3. Популярность использования метода	0,05	3	3	4	0,15	0,15	0,2
4. Заинтересованность в научной разработке	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Итого	1				4,52	4,15	3,23

Позицию разработки и конкурентов оценивали 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:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (8)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Данный анализ позволяет говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

4.1.2 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.

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

SWOT-анализ данного научно-исследовательского проекта представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Высокая точность результатов С2. Компактность изделия С3. Отсутствие расходных материалов С4. Дешевизна метода и используемых установок С5. Универсальность метода С6. Многофункциональность, т.е. возможность использования установки в различных областях науки	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Необходимо провести исследования на нескольких источниках Сл2. Подбор формы и размеров датчиков производится вручную Сл3. Высокая стоимость систем позиционирования датчиков Сл4. Нестабильность работы микротрона Сл5. Электромагнитные наводки при использовании металлической пластины
--	---	--

Продолжение таблицы 3

<p>Возможности: В1. Использование финансовой помощи ТПУ В2. Возможность изучения пучков сложной формы В3. Использование датчиков для изучения поперечных профилей не только пучков электронов В4. Использование датчиков в научных и медицинских целях В5. Для исследования возможно использовать установки, имеющиеся в ТПУ</p>	<p>В1, В5 – С3, С4 За счет дешевизны установки и метода, а также за счет отсутствия расходных материалов, перспективность работы возможно использования финансирования со стороны ТПУ. В2 – С1, С2 За счет высокой точности изготовления и компактности установки, возможно, изучать сложные профили электронных пучков. В3 – С5 Возможно изучение поперечного сечения пучков различных видов излучения. В4 – С6 Возможность использование метода и изделия в дальнейших исследованиях разных областей науки.</p>	<p>В1, В5 – Сл3 Изготовление систем позиционирования датчиков вне ТПУ. В5 – Сл1 Используя другие источники электронов, имеющиеся в ТПУ возможно апробировать данное исследование. В4 – Сл2 Необходимо создать программное обеспечение для подбора формы и размеров датчиков, чтобы была возможность использования датчиков в промышленных и научных целях. В5 – Сл4 Использование других источников излучения в исследованиях.</p>
<p>Угрозы: У1. Существование классического метода изучения поперечного профиля пучка электронов У2. Существование импортных дорогостоящих систем диагностики пучков У3. Сложность внедрения в медицинские учреждения У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>У1 – С2 За счет компактности датчика его установка точна и легка. У2 – С4 Создание менее дорогостоящей установки. У3 – С6 Предлагаемый датчик может использоваться в различных отраслях науки, и данная многофункциональность может обеспечивать спрос на продукцию хотя бы в одной области. У4 – С6 Возможность использования финансовой помощи со стороны ТПУ.</p>	<p>У1 – Сл5 Классический метод основан на сканировании пучка металлической проволокой, которая позволяет получать лишь размеры пучков электронов. У3 – Сл2 За счет того, что подбор формы и размеров датчика производится вручную, внедрение изделия в медицинские учреждения усложнено. У4 – Сл1, Сл3 Для проведения дополнительных экспериментов необходимы другие источники электронного излучения, а также другие виды датчиков и систем позиционирования, что усложняется в связи с трудностями финансирования.</p>

На основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В процессе создания структуры работ проекта структурированы и определены содержание всего проекта, которые представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Определение направления исследования и изучение технической литературы	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Выбор направления исследований	Бакалавр
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр
Экспериментальные исследования 1 и 2	5	Разработка методики эксперимента	Руководитель, бакалавр
	6	Проведение эксперимента	Руководитель, бакалавр
	7	Анализ и обработка экспериментально полученных данных	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	8	Сравнение полученных результатов	Бакалавр
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр
<i>Проведение ОКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка схемы экспериментов	Бакалавр
	11	Выбор и расчет конструкции	Бакалавр
	12	Оценка эффективности предлагаемых методов	Бакалавр
Изготовление опытной установки	13	Изготовление опытных образцов для проведения экспериментов	Руководитель, бакалавр
	14	Тестирование опытных образцов	Руководитель, бакалавр
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	15	Оформление пояснительной записки	Бакалавр

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломной работы для удобства и наглядности строят ленточный график проведения научных работ в форме диаграммы Ганта, в которой работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{Ki} = T_{Pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (9)$$

где T_{Ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{Pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;
 $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (10)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;
 $T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;
 $T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 5).

На основе таблицы 5 строится календарный план-график (таблица 6). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу (▨ – руководитель, ■ – бакалавр).

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожид}$, чел-дни					
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Составление и утверждение технического задания	0	1	0	6	0	3	0	3	0	4
Подбор и изучение материалов по теме	7	0	16	0	10	0	10	0	15	0
Выбор направления исследований	2	0	5	0	3	0	3	0	5	0
Календарное планирование работ по теме	2	3	7	5	4	4	2	2	3	3
Разработка методики эксперимента	7	7	14	14	10	10	5	5	7	7
Проведение эксперимента	3	3	12	12	7	7	3	3	5	5
Анализ и обработка экспериментально полученных данных	4	0	9	0	6	0	6	0	9	0
Сравнение полученных результатов	2	0	5	0	3	0	3	0	5	0
Оценка эффективности полученных результатов	2	3	4	7	3	4	1	2	2	3
Разработка схемы экспериментов	4	0	9	0	6	0	6	0	9	0
Выбор и расчет конструкции	3	0	9	0	5	0	5	0	8	0
Оценка эффективности предлагаемых методов	2	0	7	0	4	0	4	0	6	0
Изготовление опытных образцов для проведения экспериментов	7	5	14	17	10	10	5	5	7	7
Тестирование опытных образцов	2	2	5	5	3	3	1	1	2	2
Оформление пояснительной записки	2	0	12	0	6	0	6	0	9	0
Итого:	49	24	128	66	80	41	60	21	92	31

Таблица 6 – Календарный план-график в форме диаграммы Ганта

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	█													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр	15	█	█												
3	Выбор направления исследований	Бакалавр	5		█												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, бакалавр	3, 3			█											
5	Разработка методики эксперимента	Руководитель, бакалавр	7, 7			█	█										
6	Проведение эксперимента	Руководитель, бакалавр	5, 5				█	█									
7	Анализ и обработка экспериментально полученных данных	Бакалавр	9				█	█	█								
8	Сравнение полученных результатов	Бакалавр	5					█	█								
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, бакалавр	2, 3						█	█							
10	Разработка схемы экспериментов	Бакалавр	9						█	█	█						
11	Выбор и расчет конструкции	Бакалавр	8							█	█	█					
12	Оценка эффективности предлагаемых методов	Бакалавр	6								█	█					
13	Изготовление опытных образцов для проведения экспериментов	Руководитель, бакалавр	7, 7									█	█	█			
14	Тестирование опытных образцов	Руководитель, бакалавр	2, 2										█	█			
15	Оформление пояснительной записки	Бакалавр	9											█	█	█	

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

1. Материалы.
2. Затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в НИОКР.
3. Отчисления во внебюджетные фонды.
4. Работы, выполняемые сторонними организациями.
5. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ.
6. Прочие прямые расходы.
7. Накладные расходы.

Статьи 1-7 относятся к прямым затратам, связанным непосредственно с выполнением конкретного НТИ, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб, они объединяются в статье «Накладные расходы».

4.3.1 Расчет материальных затрат

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на оптический фибер, металлическую рамку и системы позиционирования. Результаты расчетов по затратам на материалы приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Металлическая рамка	–	1 шт.	1500	1500
Оптический фибер	G.652.D	1 шт.	300	300
Рентгенографические пленки	Gafchromic EBT3	2 шт.	1500	3000
Бумага	SvetoCopy	1 пачка	210	210
Ручка	Pilot	2	30	60
Всего за материалы				5070
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого:				5070

4.3.2 Расчет затрат на оборудование для экспериментальных работ

Данный раздел включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по тематике дипломной работы.

В данной дипломной работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относятся микротроны при ТПУ, которые были собраны сотрудниками университета, их ориентировочная стоимость составляет 2500000 рублей при назначенном сроке службы 30 лет. Также в данной работе использовались системы позиционирования металлической рамки и оптического фибера стоимостью 50000 и 100000 рублей, соответственно. Срок службы таких систем составляет около 10 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

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

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования в рублях;

T – срок службы, в количестве дней.

Микротрон использовался в течение 7 дней, система позиционирования металлической рамки 3 дня, система позиционирования оптического фибера 4 дня. Таким образом, общая стоимость оборудования, использовавшегося в данной дипломной работе, представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Расчет бюджета затрат на оборудование для научных работ

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб. за шт.	Амортизационные отчисления, руб.
Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)	1 шт.	1800	–
Микротрон ТПУ	2 шт.	2500000	1598,17
Система позиционирования металлической рамки	1 шт.	500000	41,1
Система позиционирования оптического фибера	1 шт.	100000	109,59
Итого:			3548,86

Таким образом, затраты на амортизацию и электрооборудование при выполнении данной дипломной работы составили 3548,86 рублей.

4.3.3 Затраты на оплату труда исполнителей НТИ

Раздел включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [26].

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (12)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда, которая в ТПУ предполагает оклад, определяемый предприятием, и стимулирующие выплаты, устанавливаемые руководителем подразделений. Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (13)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника в рублях.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (14)$$

где $K_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D}, \quad (15)$$

где Z_M – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях).

Количество месяцев работы без отпуска в течение года рассчитывается следующим образом: при отпуске в 48 рабочих дней $M = 10,4$ месяцев, 6-дневная неделя. В таблице 9 рассчитан действительный годовой фонд научно-технического персонала.

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Далее в таблице 10 рассчитана основная заработная плата руководителя и бакалавра.

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	1,3	34190	1416,64	21	29749,44
Бакалавр	9893	1,3	12860,9	532,88	60	31972,8

Дополнительная заработная плата для руководителя вычисляется следующим образом:

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,12 \cdot 29749,44 = 3569,93 \text{ руб.} \quad (16)$$

4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30% в 2018 от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИОКР [27].

$$C_{внеб} = K_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (17)$$

где $K_{внеб}$ – коэффициент отчислений в социальные фонды.

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя:

$$C_{внеб} = 0,271 \cdot (29749,44 + 3569,93) = 9029,55 \text{ руб.}$$

отчисления во внебюджетные фонды для бакалавра:

$$C_{внеб} = 0,271 \cdot 31972,8 = 8664,62 \text{ руб.}$$

4.3.5 Накладные расходы

При расчете накладных расходов учитываются оплата труда персонала, содержание зданий, оргтехники, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров. Также они включают в себя прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д.

При выполнении работы использовался стационарный компьютер со средней мощностью 550 Вт (0,55 кВт). Если предположить, что вся работа выполнялась на нем, то всего было израсходовано:

$$E = P \cdot F_{об} = 0,55 \cdot 36 = 19,8 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \quad (18)$$

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot E = 5,8 \cdot 19,8 = 114,84 \text{ руб.} \quad (19)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 рублей за 1 киловатт в час);

P – мощность оборудования измеряется в кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования в часах.

Также при проведении экспериментов, использовались два микротрона, средняя мощность которых равна 250 кВт. Если предположить, что вся работа выполнялась на одном ускорителе, то всего было израсходовано:

$$E = P \cdot F_{об} = 250 \cdot 28 = 7000 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \quad (18)$$

Затраты на электроэнергию, израсходованную при использовании ускорителя, рассчитываются по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot E = 5,8 \cdot 7000 = 40600 \text{ руб.} \quad (19)$$

Месяц пользования интернетом стоит 450 рублей, в данной работе интернет использовался 4 месяца, таким образом, затраты на интернет составили 1800 рублей.

Накладные расходы в данной работе составили 42514,84 рублей.

4.4 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11 [26].

Таблица 11 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Стоимость затрат, в рублях (руководитель+бакалавр)
1. Материальные затраты НТИ	5070
2. Затраты на оборудование	3548,86
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	61722,24
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3569,93
5. Отчисления во внебюджетные фонды	17694,17
6. Накладные расходы	42514,84
7. Бюджет затрат НТИ	134120,04

В ходе выполнения экономической части дипломной работы были проведены расчеты плановой себестоимости проведения НТИ и времени, необходимого на проведение научного-исследования. Плановая себестоимость работы составляет 134120,04 руб., основная составляющая, которой – затраты на заработную плату исполнителям научно-технического исследования.

4.5 Определение ресурсной эффективности исследования

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (20)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^b – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки,

устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	3
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	2
4. Энергосбережение	0,20	5	4	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,15	4	3	4
ИТОГО	1	4,3	4	3,15

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \quad (21)$$

где Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{134500}{140000} = 0,96;$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{138000}{140000} = 0,985;$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{140000}{140000} = 1.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финр}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p}, \quad (22)$$

$$I_{финр}^a = \frac{I_m^a}{I_{\Phi}^a}, \quad (23)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{4,3}{0,96} = 4,43;$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{4}{0,985} = 4,06;$$

$$I_{\text{финр}}^{a2} = \frac{3,15}{1} = 3,15.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_m^p}. \quad (24)$$

Таблица 13 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	4	3,15	4,3
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	4,06	3,15	4,48
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,01	1	1,04

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно заключить что, сравнительная оценка текущего проекта выше других аналогов.

Таким образом, итоговая себестоимость исследовательской работы по тематике диплома составила 134120,04 рубль, время, необходимое для выполнения работы, составило 92 календарных дня.

5 Социальная ответственность

На сегодняшний день для улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости происходит 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, организационных, технологических, социально-экономических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность и сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе производственной деятельности [28].

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

Опасным производственным фактором, согласно [28], 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

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при написании данной диссертационной работы представлены в таблице 14.

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

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Экспериментальные исследования на микротроне ТПУ, НИИ ядерной физики при ТПУ; обработка данных на ПК в лаборатории 026	Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне		Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09.
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность
	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.)		СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. «Гигиенические требования к ПЭВМ и организация работы»
		Пожароопасность	ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

На оператора ЭВМ воздействуют физические (температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное поле низкой чистоты, освещённость, наличие ионизирующего излучения) и психофизиологические факторы.

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 воздействия и устранению их влияния при работе на ПК и микротроне

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 на рабочем месте ответственным лицом. Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

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

5.2.2 Организация рабочего места оператора ПК

Рациональная планировка рабочего места предусматривает порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости представлены на рисунке 32, где 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.

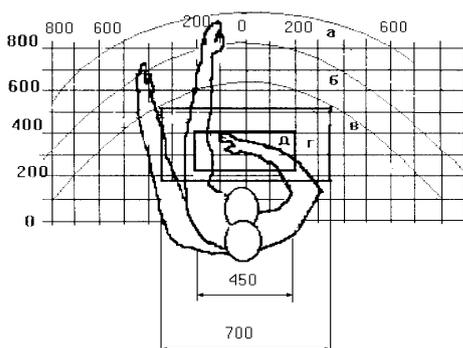


Рисунок 32 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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); в зоне в (слева) литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола необходимо, чтобы высота рабочей поверхности стола варьировалась в пределах 680-800 мм, высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Также необходимо, чтобы рабочий стол был 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 с заглублённым передним краем не менее 400 мм.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Также 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.

5.2.3 Условия безопасной работы

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии со [29] и приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

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

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. 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 составляет от 20 до 25°C, зимой – от 13 до 15°C. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери.

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

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видео-кабеля. Согласно [29] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5-2000 Гц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2-400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5-2000 Гц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2-400 кГц – 25 нТл.

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение

хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкР/час. По нормам [29] конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность эквивалентной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

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

В производственном помещении применяется общее равномерное освещение с помощью люминесцентных ламп.

Согласно требованиям [30] освещенность рабочих поверхностей должна быть не менее 200 лк.

5.3 Радиационная безопасность

Лаборатория, в которой проводилась работа была подвергнута испытаниям в аккредитованной Госстандартом России лаборатории радиационного контроля по параметру: определение радиационной обстановки и соответствует нормативным требованиям, представленным в документах [31].

В ходе выполнения ВКР эксперименты проводились на микротроне, генерирующем пучок электронов с энергиями до 6 МэВ. Согласно [32] данный вид ускорителей относится к I группе, то есть к группе ускорителей с максимальной энергией ускоренных электронов до 10 МэВ. При такой энергии электронов фотоядерные реакции возможны лишь с отдельными изотопами и наведенная активность окружающей среды практически не представляет опасности для здоровья людей.

В результате воздействия ионизирующих излучений на организм человека нарушается нормальное течение биохимических процессов и обмен веществ. В зависимости от величины поглощенной дозы излучения и от индивидуальных особенностей организма вызванные изменения могут быть обратимыми или необратимыми. Любой вид ионизирующего излучения

вызывает биологические изменения в организме как при внешнем облучении, когда источник облучения находится вне организма, так и при внутреннем облучении, когда радиоактивные вещества попадают внутрь организма.

При работе с ускорителями необходимо соблюдать ряд требований, которые перечислены ниже.

К работе на ускорителе допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, отнесенные к категории персонала группы А или персонал группы Б в сопровождении персонала группы А, прошедшие обучение по правилам работы на ускорителе и по радиационной безопасности, прошедшие инструктаж по радиационной безопасности.

Женщины должны освобождаться от работы на ускорителе, связанной с воздействием ионизирующих излучений, на весь период беременности и грудного вскармливания ребенка.

Радиационная защита от всех видов ионизирующего излучения, возникающего при работе ускорителя, должна проектироваться так, чтобы суммарные годовые эффективные дозы облучения персонала и населения не превышали величин 20 мЗв/год для персонала группы А, 5 мЗв/год для персонала группы Б и 1 мЗв/год для обычного населения. При этом следует учитывать максимальное время работы ускорителя в течение года и вводить коэффициент запаса, равный 2.

Данные ускорительные установки находятся в специальном бункере, конструкция радиационной защиты которых обеспечивает необходимую защиту персонала и населения в соответствии с документом [29]. Доступ лиц, не связанных непосредственно с работой на ускорителе должен быть регламентирован. Перед включением микротрона необходимо в срочном порядке покинуть бункер, после чего убедиться, что двери плотно закрыты и все условия удовлетворяют требованиям. Во время работы ускорителя на пульте управления и над входом в рабочую камеру в обязательном порядке горят предупреждающие световые сигналы.

Дополнительно необходимо использовать средства индивидуальной защиты (халат, шапочка, резиновые перчатки, тапочки), а также носить индивидуальный дозиметр в нагрудном кармане (для контроля дозы радиоактивного излучения, полученной персоналом при работе на ускорителе).

5.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и другими устройствами 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 землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Существует опасность электропоражения 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.

Для обеспечения электробезопасности электроустановок происходит отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа. Также принимаются меры по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы, вывешивание плакатов, указывающих место работы, заземление корпусов всех установок через нулевой провод, покрытие металлических поверхностей инструментов надёжной изоляцией, недоступность токоведущих частей аппаратуры.

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [33], 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 разделяются на следующие группы: 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);
- 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;
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- 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:

1. сообщить руководству (дежурному);
2. позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС;
3. принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

Заключение

В настоящее время для контроля характеристик пучков заряженных частиц существует необходимость наличия устройств, позволяющих с высокой точностью определять их параметры. Например, при проведении лучевой терапии необходимо знать плотность распределения пучка электронов в поперечной плоскости. Из-за опасности данной процедуры необходимо осуществлять контроль параметров пучка и учитывать индивидуальные особенности пациентов, чтобы задавать специфический профиль электронных пучков.

Существуют различные методы определения характеристик электронного пучка. Основное внимание в них уделяется геометрическим параметрам, таким как диаметр, угол сходимости. Однако они не дают полного представления о пространственных характеристиках электронного потока. Для этого необходимо измерять распределение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка. Существующие способы для измерения данной характеристики обладают рядом недостатков, например, низкое разрешение, ограниченные дозовые характеристики пучка и наличие расходных материалов, изменяющих свои характеристики в процессе облучения пучком. Поэтому имеется необходимость создания способа, позволяющего измерять распределение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка.

В ходе бакалаврской работы:

- изучена техническая литература;
- разработана концепция метода на основе математической реконструкции;
- определено оптимальное количество сканирований и угол их смещения для реконструкции;
- создано устройство сканирования электронного пучка;

– проведен эксперимент по исследованию плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе математической реконструкции;

– разработан способ измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале;

– проведен эксперимент по исследованию плотности потока электронов в поперечном сечении пучка на основе излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в оптическом фибре, и обработаны полученные экспериментальные данные;

– проведен эксперимент по исследованию плотности потока электронов в поперечном сечении пучка с использованием рентгенографических пленок Gafchromic EBТЗ и обработаны полученные экспериментальные данные;

– проведен анализ результатов, полученных с использованием оптического фибера и рентгенографических пленок Gafchromic EBТЗ.

В рамках данной работы был предложен способ, позволяющий измерять распределение плотности потока электронов в поперечном сечении пучка без использования расходных материалов с пространственным разрешением полученных результатов 1×1 мм. Это потенциально делает его более удобным и менее дорогостоящим, чем большинство существующих аналогов. Однако необходимо учитывать разницу эффективности генерации излучения Вавилова-Черенкова при разных положениях оптического фибера относительно пучка. Поэтому дальнейшая работа направлена на оптимизацию устройства сканирования и апробацию способа измерения плотности потока электронов в поперечном сечении пучка при помощи излучения Вавилова-Черенкова, генерируемого в диэлектрическом материале, на клиническом пучке электронов.

Список использованных источников

- 1 Electron beam applications. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.fep.fraunhofer.de/en/Geschaeftsfelder/Elektronenstrahl-Anwendungen.html>, свободный.
- 2 Пат. 2393505 РФ. МПК51 G01T 1/29. Способ определения распределения плотности потока электронов по его сечению/ Э.З. Курмаев. Заявлено 05.05.2009; Оpubл. 27.06.2010, Бюл. № 18. – 20 с.
- 3 Пат. 1292469 РФ. МПК51 G01T 1/29. Способ определения распределения плотности потока заряженных частиц в поперечном сечении пучка / А.Д. Ониско. Заявлено 15.04.1985; Оpubл. 15.12.1992, Бюл. № 46. – 11 с.
- 4 Аксенович Л.А. Электронные пучки и их свойства. [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.physbook.ru/index.php/A._Электронные_пучки.
- 5 Бетатрон [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/accelerators/betatron.htm>.
- 6 Черняев А.П. Ускорители в современном мире. – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 368 с.
- 7 Микротрон [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/accelerators/microtron.htm>.
- 8 Ципенюк Ю.М. Фундаментальные и прикладные исследования на микротроне. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009, – 424 с. – ISBN 978-5-9221-1035-8.
- 9 Линейные ускорители [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://nuclphys.sinp.msu.ru/experiment/accelerators/linear_ac.htm.
- 10 Медицинский линейный ускоритель [Электронный ресурс] .- Режим доступа: <http://www.rusmedserv.com/radiology/linear-accelerator/>.
- 11 Смалюк В.В. Диагностика заряженных частиц в ускорителях / Под ред. чл.-корр. РАН Н. С. Диканского. Новосибирск: Параллель, 2009. 294 с.

12 Беспалов В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. – 4-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 369 с.

13 Джексон Дж. Классическая электродинамика. – перевод с английского Воскресенского Г.В., Соловьева Л.С. – Под редакцией Бурштейна Э.Л. – Москва: Изд-во «Мир», 1965. – 703 с.

14 Грузман И.С. Математические задачи компьютерной томографии // Соросовский образовательный журнал, 2001. № 5.

15 MATLAB [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://matlab.ru/products/matlab>.

16 Колл. авторов Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 1. Измерительные устройства, преобразующие элементы и устройства. – Под ред. засл. деятеля науки и техники РСФСР д.т.н. проф. В.В. Солодовникова. – Москва: Машиностроение, 1973. – 671 с.

17 Borca V.C. Dosimetric characterization and use of GAFCHROMIC EBT3 film for IMRT dose verification. – JACMP 14(2) (2013). – pp. 158–171.

18 Радиохромные пленки Gafchromic для исследований в ядерной физике и лучевой терапии [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.gafchromic.ru/docs/gafchromic_catalog.pdf.

19 GAFCHROMIC® EBT2 Dosimetry Film [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.gotopeo.com/images/stories/pdf/rt/isp_ebt2productspec_09_peo.pdf.

20 Vukolov A.V. Diagnostics of electron beams based on Cherenkov radiation in an optical fiber – Russ. Phys. J. 59(10) (2017) – pp. 1681–1685.

21 Иванов И. Методика оценки и сравнения кремниевых фотоумножителей // Элементарная база электроники [Электронный ресурс].- Режим доступа: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/5/article_5135_240.pdf.

22 Optical Fiber Subassemblies [Электронный ресурс].- Режим доступа: https://www.atel-electronics.eu/produkt.php?hash=08685#e2000_pigtails.

23 Characteristics of a single-mode optical fiber and cable [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.icsgroup.ru/upload/iconsult/299/G.652-200506.pdf>.

24 Пленка дозиметрическая GAFCHROMIC EBТ3 [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://gafchromic.ru/docs/EBТ-3.pdf>.

25 Jelley J.V. Cherenkov radiation and its applications. – London: Pergamon. (1958) – p. 314.

26 Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие. – М.: Энергия, 1980. – 175 с.

27 Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. – 399 с.

28 Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.

29 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы».

30 СНиП 23-05-95. Строительные нормы и правила «Естественное и искусственное освещение».

31 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). СП 2.6.1.2523-09, Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). СП 2.6.1.2612-10.

32 СанПиН 2.6.1.1192-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».

33 ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.