

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

---

Школа ИЯТШ  
Направление подготовки Ядерная физика технологий  
Отделение школы ОЯТЦ

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Исследование влияния токопроводящего слоя бетатронной трубки на характеристики магнитного поля бетатрона

УДК 621.384.634.3:621.316.35:537.612

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Тойбаев Нурлан Жолдаспайулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Шестак А.П.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОSGH	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ	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.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
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; способности 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.

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	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).
Р9	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.
Р10	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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
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 разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

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

---

Школа ИЯТШ

Направление подготовки (специальность) Ядерные физика и технологии

Отделение школы (НОЦ) ОЯТЦ

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Бычков П.Н.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0А4Б	Тойбаеву Нурлану Жолдаспайулы

Тема работы:

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО СЛОЯ БЕТАТРОННОЙ ТРУБКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ БЕТАТРОНА</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Стенд бетатрона МИБ-4 с амплитудой индукции магнитного поля 0,28 Тл и частотой 500 Гц; Регистрирующие устройства: Датчик Холла; Измерительная катушка; Осциллограф</p>
--	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературы по теме исследования; конструкция бетатрона; методы измерения магнитного поля; измерение магнитного поля; финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность</p>
--	---

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент и ресурсоэффективность	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Гоголева Татьяна Сергеевна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**


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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Шестак А.П.			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А4Б	Тойбаев Нурлан Жолдаспайулы		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А4Б	Тойбаеву Нурлану Жолдаспайулы

<b>Школа</b>	<b>ИЯШТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика атомного ядра и частиц

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования:	— заработная плата – 54190 руб.; — бюджет исследования – 80496 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов:	— тариф на электроэнергию 5,8 руб./кВт·ч; — районный коэффициент для г. Томска равен 1,3.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования:	— отчисления во внебюджетные фонды 27,1%.

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

1. Планирование и формирование бюджета научных исследований:	— структура работ в рамках научно-технического исследования; — оценка трудоемкости выполнения работ; — составление графика выполнения научно-технического исследования; — расчет бюджета научно-технического исследования.
--	---

**Перечень графического материала:**

1. Матрица SWOT-анализа;
2. Диаграмма Ганта;
3. Этапы проведения работ;
4. Бюджет затрат научно-технического исследования.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.05.2018
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Меньшикова Е.В.	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А4Б	Тойбаев Нурлан Жолдаспайулы		

**ФЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А4Б	Тойбаев Нурлан Жолдаспайулы

<b>Школа</b>	<b>ИЯШТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика атомного ядра и частиц

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

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> <li>— вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, электромагнитное поле, ионизирующее излучение);</li> <li>— опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).</li> </ul>
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме:	<ul style="list-style-type: none"> <li>— электробезопасность;</li> <li>— пожаровзрывобезопасность;</li> <li>— требования охраны труда при работе на бетатроне, ПЭВМ;</li> </ul>

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

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>— действие фактора на организм человека;</li> <li>— приведение допустимых норм с необходимой размерностью;</li> <li>— предлагаемые средства защиты.</li> </ul>
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:	<ul style="list-style-type: none"> <li>— электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);</li> <li>— пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

30.04.2018

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ОЯТЦ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А4Б	Тойбаев Нурлан Жолдаспайулы		



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

---

Школа ИЯТШ

Направление подготовки (специальность) Ядерные физика и технологии

Уровень образования Высший

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:	14.01.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2018	Подбор и изучение материалов по теме	8
07.03.2018	Построение 3D модели эксперимента	8
30.04.2018	Подготовка оборудования для проведения эксперимента	8
20.05.2018	Проведение эксперимента на стенде	8
25.05.2018	Анализ полученных результатов	8

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник	Шестак А.П.			

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Бычков П.Н.	к.ф.-м.н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 71 страниц, 20 рисунков, 19 таблиц, 20 источников

Ключевые слова: бетатрон, ускорительная камера, ускоритель, магнитное поле, измерение магнитного поля.

Цель работы: Определить степень и характер влияния токопроводящего слоя бетатронной ускорительной трубки на характеристики магнитного поля в межполюсном пространстве бетатрона МИБ-4.

Объектом исследования является токопроводящий слой ускорительной камеры бетатрона.

В процессе исследования определялось влияние внутреннего покрова ускорительной камеры на переменное магнитное поле на равновесной орбите пучка в межзазорном пространстве бетатрона, от которого в свою очередь зависит мощность дозы рентгеновского излучения.

Область применения: досмотры на таможне, бетатронная томография, дефектоскопия.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Бетатрон – циклический индукционный ускоритель электронов, в котором ускорение осуществляется возрастающим во времени вихревым электрическим полем.

Равновесная орбита – орбита, на которой период обращения частицы совпадает с периодом ускоряющего напряжения либо кратен ему, т.е. орбита постоянного радиуса, на которой выполняется бетатронное условие

Бетатронное условие – условие постоянства радиуса равновесной орбиты в бетатроне, заключающееся в том, что скорость изменения среднего магнитного поля, пронизывающего орбиту, должна быть вдвое больше скорости изменения ведущего магнитного поля на орбите.

## Содержание

Введение.....	14
1 Проблема высокого уровня отбраковки бетатронных трубок .....	16
2 Конструктивные особенности бетатронных ускорительных трубок .....	19
2.2 Конструкция ускорительной трубки бетатрона.....	21
3 Измерительная аппаратура.....	23
3.1 Общие вопросы и методы измерения магнитных полей .....	23
3.2 Датчики .....	25
3.3 Калибровка датчика Холла .....	27
3.4 Операционные усилители .....	29
3.5 Генератор импульсов.....	33
3.6 Размещение датчика Холла.....	33
3.7 Размещение измерительной катушки .....	35
4 Анализ результатов .....	36
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	40
5.1 Введение.....	40
5.2 Потенциальные потребители результатов исследования .....	41
5.3 Анализ конкурентных технических решений .....	41
5.5 SWOT-анализ.....	42
5.6 Планирование научно-исследовательских работ .....	44
5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	44
5.6.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	46
5.6.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	50
5.6.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	50
5.6.4.2 Затраты на электроэнергию .....	52
5.6.4.4. Основная заработная плата исполнителей темы .....	53
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	56
6 Социальная ответственность.....	57
6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	57

6.2	Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на персонал.....	59
6.2.1	Организационные мероприятия .....	59
6.2.3	Условия безопасной работы.....	62
6.3	Электробезопасность .....	64
6.4	Пожарная и взрывная безопасность.....	65
	Заключение .....	68
	Список литературы .....	69

## **Введение**

Бетатроны, разрабатываемые в Томском политехническом университете, пользуются спросом и поставляются на промышленные предприятия России и за рубеж.

За последнее время малогабаритные бетатроны разных типов нашли более широкое применение. Объем выпуска этих ускорителей, используемых как источники высокоэнергетического рентгеновского излучения максимальной энергией до 10 МэВ, сейчас составляет примерно 4 штук в месяц (не меньше 50 штук год). Учитывая, что каждый выпускаемый бетатрон комплектуется тремя ускорительными камерами, а также все возрастающий спрос на запасные камеры из-за ограниченного ресурса их работы (гарантийная наработка 300-400 часов), объем выпуска ускорительных камер, обеспечивающий гарантированную мощность дозы должен быть намного выше.

**Актуальность.** Рассмотрим некоторые проблемы, с которыми приходится сталкиваться при эксплуатации камер. При изготовлении бетатрона путем его тщательной настройки под данные камеры удается в некоторых пределах увеличить для них выход излучения и получить гарантированную мощность дозы, даже если первоначально они её не дают. Тем не менее, выход годных камер и в этом случае составляет примерно от 70-80% для различных типов камер. Оставшиеся 20-30% не могут быть поставлены потребителю. Отбракованные камеры или их узлы никак не могут быть использованы при повторном производстве. Таким образом, как бы увеличивается реальная стоимость камеры. Еще хуже ситуация с запасными камерами, под которые потребитель не может подстроить бетатрон, так как этот процесс достаточно сложный и требует специального оборудования.

В связи с этим возникло понятие «универсальная» камера, которая после установки в блок инъекции, тренировки и проверки в компании «Фотон» (в сотрудничестве с Томским Политехническим Университетом) мощность дозы дает, по крайней мере, на 20% выше гарантированной. Накопленный опыт

показывает, что в этом случае удастся обеспечить гарантированную мощность дозы практически на всех экземплярах бетатронов данного типа. Естественно выход универсальных камер уже меньше. При расчете потребности в запасных камерах выход универсальных берется равным 50%, что примерно соответствует действительности.

**Цель работы:** Определить степень и характер влияния токопроводящего слоя бетатронной ускорительной трубки на характеристики магнитного поля в межполюсном пространстве бетатрона МИБ-4.

## 1 Проблема высокого уровня отбраковки бетатронных трубок

В настоящее время большой разброс камер вызывает проблему при эксплуатации бетатронов. Самой оптимальной мощностью дозы после настройки камеры (БУК-6) для МИБ-7 составляет примерно 6-7 Р/мин. Около 15 камер из 100 дают 8 Р/мин. Самой высокой зарегистрированной мощностью дозы была 12 Р/мин. Высокая мощность требует обеспечивать достаточно дорогую радиационную защиту, из-за чего подобная характеристика не всегда является предпочтительным для потребителей. А из-за больших габаритов конструкции бетатрона, уменьшение мощности дозы является непростой задачей. Цель производителей – обеспечение одинаковой мощности доз во всех камерах. Однако различные камеры (удовлетворяющих требованиям ТУ по электрическим параметрам) дают мощности доз, которые могут отличаться на порядок.



Рис. 1 – Ускорительная камера РБКЗ-3М. 1 – инжектор; 2 – баллон камеры; 3 – вывод проводящего слоя; 4 – геттерный узел.

Также существует большой разброс по оптимальному току инъекции у разных камер. Под оптимальным током инъекции, понимается амплитудное значение тока инжектируемых электронов, собираемых с проводящего покрытия



камеры и анодной коробки инжектора, которое обеспечивает максимальную мощность дозы. Этот ток часто называют током слоя  $I_{сл}$ . Во время инъекции не все электроны попадают на равновесную орбиту, так некоторое количество электронов попадает на анод, тем самым образуя ток анода  $I_a$ . Ток эмиссии катода  $I_k$  является суммой тока анода  $I_a$  и тока слоя  $I_{сл}$ . Коэффициент токопрохождения используется для оценки качества инжектора:

$$K_T = \frac{I_{сл}}{I_k}$$

Для потребителя вышеуказанные параметры не являются важными. Однако большой оптимальный ток и высокий  $K_T$  требует соответствующего роста рабочей температуры катода, что может служить одним из факторов, уменьшающих срок службы камеры.

Наличие запасных генераторов напряжения инъекции и накала вызвано большим разбросом токовых параметров, и от потребителя требуется уметь выполнять некоторых операции по настройке камеры. Это вызывает затруднения, связанные с взаимозаменяемостью камер. Еще больше усложнений связано с удаленностью потребителя.

Существуют три группы причин, связанных с камерой: рабочий вакуум, электронно-оптические свойства инжектора, которые определяются размерами инжектора и его расположением в камере, а также качество проводящего покрытия камеры. Последний фактор мало изучен, отсутствует аппаратура для измерения неравномерности проводящего покрытия и обоснованные критерии оценки его качества. Тем не менее, имеются косвенные данные, которые говорят, что проводящее покрытие может играть большую роль в процессе захвата электронов в ускорение. Качественная картина заключается во взаимодействии инжектируемого пучка с наведенным зарядом на проводящем покрытии. Такое взаимодействие может привести к «стеночной» неустойчивости, которая заключается в разделении пучка на азимутальные сгустки и появлении высокочастотных колебаний. Предполагается, что эти колебания являются

основной причиной захвата электронов в ускорение, так как на их генерацию инжектируемые электроны расходуют часть своей энергии и обходят инжектор.

У нормально работающего бетатрона импульсы следующие друг за другом могут отличаться на 30-35%. Это объясняется незначительными отклонениями в параметрах инжектируемого пучка, что вызывает процесс возникновения высокочастотных колебаний (являющиеся неустойчивым). На данный момент прямые исследования факторов, из-за которых происходит флуктуация импульсов доз, не могут объяснить этот факт.

## 2 Конструктивные особенности бетатронных ускорительных трубок

Бетатронная ускорительная трубка имеет ряд конструктивных отличий и схожестей по сравнению с классической рентгеновской трубкой. В обоих устройствах источником электронов в инжекторе служит подогреваемый переменным током до высокой температуры катод. К катодам предъявляются специфические требования: достаточно высокая стабильность эмиссии во времени, устойчивость к отравлению, т.е. способность работы при сравнительно низком вакууме  $10^{-5} - 10^{-6}$  тор, устойчивость к ионной бомбардировке, механическая прочность эмитирующего слоя и его сцепление с подложкой и достаточно большой срок службы [1].

### 2.1 Конструкция рентгеновской ускорительной трубки

Вакуумная оболочка рентгеновской трубки предназначена для отделения вакуумного объема прибора от внешней среды, электродов в определенном положении и изоляции их друг от друга. По конструктивному исполнению оболочки можно разделить стеклянные, металлостеклянные и металлокерамические. Изоляционная часть оболочки называется баллоном. Обычно баллоны первого типа изготавливаются из стекла молибденовой группы, имеющего хорошие вакуумные, термические и диэлектрические свойства. Коэффициент термического расширения этих стекол позволяет производить согласованные спаи с молибденом и коваром [2].

Баллоны изготавливают методом выдувания в специальные формы, позволяющие формировать необходимую конфигурацию баллона с достаточной точностью. Соединение электродов с баллоном осуществляется пайкой. При этом собранные на стеклянных ножках катодный и анодный узлы герметично соединяются с баллоном на специальных заварочных станках.

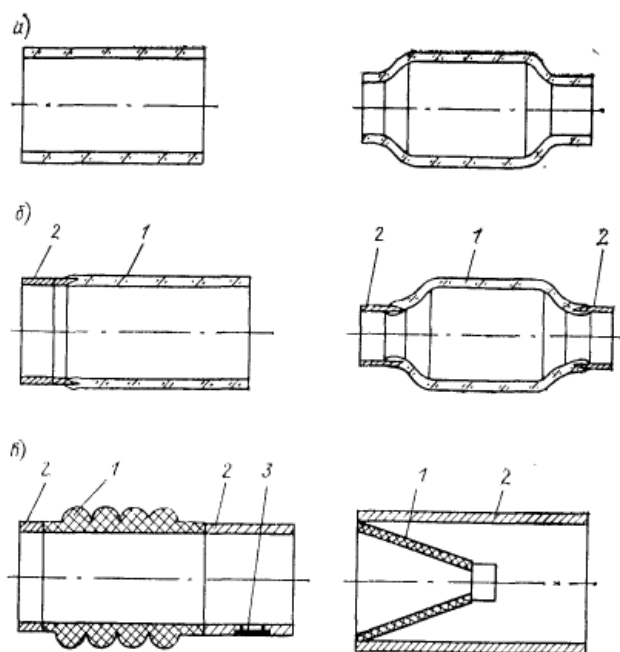


Рис. 2 – Конструкция вакуумной оболочки рентгеновской трубки: *а* – стеклянной; *б* – металлической; *в* – металлокерамической. 1 – баллон; 2 – кольцо (корпус); 3 – выпускное окно

Конфигурация баллона определяется назначением трубки и зависит от ее мощности и рабочего напряжения. В трубках на относительно большие напряжения баллон имеет расширенную среднюю часть. Такие баллоны имеют более высокую электрическую прочность по сравнению с цилиндрическими. Баллоны такого типа применяются также в трубках большой мощности. При этом расширение средней части способствует уменьшению удельной тепловой нагрузки на поверхность стекла за счет теплового излучения с катода и анода. Длину баллона выбирают с учетом рабочего напряжения трубки и среды, в которой она будет эксплуатироваться.

Если выпуск излучения осуществляется непосредственно через стенку баллона, то стекло в соответствующем месте иногда утончают путем шлифовки – создают специфическое выходное окно.

В целях повышения точности сборки трубок для соединения с катодным и анодным узлами часто применяют стеклянные баллоны, армированные коваровыми кольцами. В этом случае катодные и анодные узлы собирают на

металлических ножках, которые вакуумплотно соединяют с коваровыми кольцами аргонодуговой или лазерной сваркой [3].

Комбинированные металлостеклянные и металлокерамические оболочки состоят из стеклянного или керамического баллона и металлического корпуса. Они применяются в тех случаях, когда из трубки необходимо выпустить рабочий пучок с низким ослаблением. В этом случае в корпусе трубки предусматривают вакуумплотное выходное окно  $3$  из бериллия, имеющего низкий коэффициент ослабления для длинноволнового излучения. Обычно корпус изготавливают из меди, кобальта или нержавеющей стали.

## 2.2 Конструкция ускорительной трубки бетатрона

Баллон камеры изготавливается из молибденового стекла и имеет форму тороида. Овальная форма сечения камеры обеспечивает ее механическую прочность, а выбор материала обусловлен тем, что молибденовое стекло позволяет выполнять вакуумплотные спаи с молибденовыми держателями инжектора и выводами геттерного узла [1].

Внутренняя поверхность ускорительной камеры бетатрона (в отличие от внутренней поверхности рентгеновской трубки) покрыта проводящим слоем, который имеет некоторое сопротивление. Необходимость проводящего покрытия обусловлена тем, что в процессе ускорения часть электронов вследствие соударения с молекулами остаточного газа отклоняются от равновесной орбиты и оседают на стенках камеры. На стенках образуется отрицательно заряженный поверхностный заряд, который мешает ускорению электронов, движущихся по равновесной орбите. Проводящее покрытие заземляется и электроны, попадающие на него, стекают на землю.

Для отпаянных камер в качестве такого покрытия применяется полупроводниковая пленка на основе двуокиси олова. Эта пленка обладает хорошей адгезией к стеклу, малой сорбционной способностью и хорошо обезгаживается в процессе откачки. Полупроводниковая пленка наносится

методом обработки внутренней поверхности камеры парами двухлористого олова. Камера помещается в электрическую печь и при температуре порядка 400 °С в нее вводится испаритель, в который насыпана навеска обезвоженного двухлористого олова. Пары двухлористого олова омывают внутреннюю поверхность камеры, происходит гидролиз, в результате которого на поверхности стекла получается полупроводниковая пленка.

Вывод проводящего покрытия осуществляется через коваровый ввод, который заваривается в геттерный патрубок. Электрический контакт ковара с проводящей пленкой достигается вжиганием серебра.

Первоначально высокий вакуум в ускорительной камере получается при ее изготовлении. При работе камеры электроны бомбардируют покрытие стекла, в результате чего выделяется некоторое количество газа. Поэтому необходим газопоглотитель, в качестве применяется титановый сорбционный насос. Он представляет собой титановую трубку, внутри которой находится вольфрамовый подогреватель. Такой титановый насос позволяет многократно производить распыление титана и за счет его большой сорбционной способности поддерживать в отпаянной камере вакуум порядка  $270 \div 70$  мкПа.

Жесткое тормозное излучение генерируется при сбросе ускоренных электронов на мишень. В качестве мишени используются материалы с высоким атомным номером  $Z$ . Для этих целей в отечественных бетатронах применяется вольфрам ( $Z = 74$ ).

### 3 Измерительная аппаратура

#### 3.1 Общие вопросы и методы измерения магнитных полей

Под параметрами магнитного поля принято понимать скалярные, векторные и тензорные величины, характеризующие магнитное поле и инвариантные относительно системы координат. К ним относятся магнитный поток, вектор магнитной индукции, вектор напряженности магнитного поля, градиент вектора магнитной индукции  $\text{grad } \mathbf{B}$  ( $\nabla \mathbf{B}$ ) (тензор), градиент модуля магнитной индукции  $\text{grad } |\mathbf{B}|$  ( $\nabla |\mathbf{B}|$ ) (вектор) и др. Обычно непосредственно измеряемые параметрами магнитного поля являются скалярные величины: магнитный поток, модуль вектора магнитной индукции  $|\mathbf{B}|$  или его составляющие  $B_i$ , производные этих величин, функционально связанные с указанными векторными и тензорными величинами и дающие возможность определить топографию и степень неоднородности магнитного поля, а также характер его изменения во времени.

Современная практика, включая уникальные научные исследования, требует измерения параметров постоянных магнитных полей с индукцией от  $10^{-16}$  Тл (магнитный вакуум) до 30 Тл, переменных – от  $10^{-15}$  Тл до нескольких тесла в диапазоне частот от долей герц до десятков мегагерц, импульсных – с индукцией от  $10^{-15}$  Тл до сотен тесла при длительности импульсов от единиц наносекунд до нескольких секунд. Магнитный поток необходимо измерять до тысячных долей кванта потока ( $\Phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-15}$  Вб) до десятков вебер. В ряде случаев измерения необходимо производить при сверхнизких или сверхвысоких температурах, в космическом пространстве, при низких и высоких давлениях и в других экстремальных условиях.

Разнообразны требования к точности измерения магнитных величин. При определении значений физических констант, в метрологической практике необходимо стабилизировать и измерять магнитную индукцию с погрешностью  $10^{-8} - 10^{-6}$ . При исследовании устройств ускорительной техники и различных

систем с постоянными магнитами погрешности не должны превышать  $10^{-6} - 10^{-3}$ . Погрешности измерений магнитного потока находятся в пределах  $10^{-5} - 10^{-1}$ .

Большинство методов измерений параметров магнитного поля базируется на двух основных проявлениях магнитного поля: силовом (энергетическом) взаимодействии магнитного поля с макро или микроскопическими токами и электромагнитной индукции [8].

Таблица 1 – Классификация основных методов измерений параметров постоянного и переменного магнитных полей.

Методы и средства измерений	Диапазон измерений индукций постоянных (переменного) магнитных полей, Тл	Диапазон измерений частот, Гц	Погрешность, %
Магнитомеханические	$10^{-9} - 10^{-5}$ ( $10^{-11} - 10^{-5}$ )	0 – 10	0,01 – 5
<b>Магниторезонансные</b>			
Ядерный магнитный резонанса	$10^{-11} - 10^{-3}$ ( $10^{-11} - 10^{-3}$ )	0 – $20 \cdot 10^3$	0,0001 – 0,02
Электронный парамагнитный резонанс	$10^{-3} - 10^{-1}$	-	0,01 – 0,1
Магниторезонансный с оптической накачкой	$10^{-13} - 10^{-5}$ ( $10^{-11} - 10^{-5}$ )	0 – $20 \cdot 10^3$	0,5
<b>Гальваномагнитные</b>			
Эффект Холла	$10^{-6} - 10$ ( $10^{-6} - 10$ )	0 – $200 \cdot 10^3$	0,2 – 2,5
Эффект Гаусса	$10^{-1} - 10$ ( $10^{-1} - 10$ )	0 – $20 \cdot 10^3$	0,5 – 2,5
<b>Индукционный</b>			
Собственно индукционные	$10^{-7} - 10$ ( $10^{-9} - 10$ )	20 – $30 \cdot 10^6$	0,5 – 2,5



Продолжение табл. 1

Сверхпроводниковые на эффекте Джозефсона	$10^{-13} - 10^{-6}$ ( $10^{-13} - 10^{-6}$ )	$0 - 1 \cdot 10^3$	0,1 – 5
Магнитооптические на эффекте Фарадея	$10^{-3} - 10$ ( $10^{-3} - 10$ )	$50 - 60 \cdot 10^3$	0,2 – 2,5

### 3.2 Датчики

Из всех выше перечисленных методов измерения переменных магнитных полей было использовано только два: метод на эффекте Холла и собственно индукционный метод. Это прежде связано с доступностью соответствующих датчиков и возможным диапазоном измерения индукции магнитного поля и ее частоты. Максимальное значение магнитного поля на бетатроне МИБ-4 лежит в пределах 0,28 Тл, а частота около 500 Гц.

Для измерения переменных магнитных полей рассматривалось два основных метода измерения: использование датчиков Холла и измерение катушкой методом электромагнитной индукции.

**Датчик Холла.** Общеизвестно, что на проводник с током, находящийся во внешнем магнитном поле, действует сила Ампера, а если рассмотреть процесс более глубоко, то на движущиеся внутри проводника заряженные частицы действует сила Лоренца [5].

Так, если проводящую пластину поместить в магнитное поле, и пропустить через пластину постоянный или переменный электрический ток, то на краях пластины возникнет постоянная или переменная разность потенциалов. Эта разность потенциалов называется ЭДС Холла. Исходя из известных параметров пластины, зная ЭДС Холла, можно определить значение магнитной индукции.

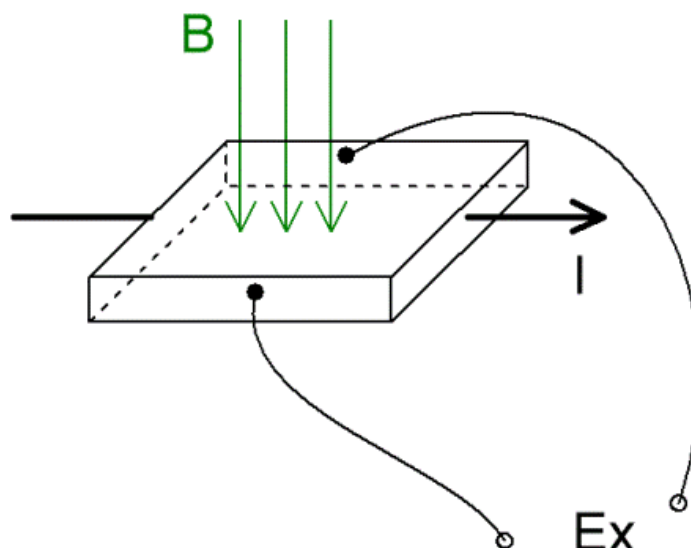


Рис. 3 – Схема работы датчика Холла

$$E_x = S_x * B \quad (1)$$

где  $E_x$  – ЭДС Холла;  $S_x$  – чувствительность датчика.

**Измерение катушкой методом электромагнитной индукции.**

Известно, что при пересечении витков катушки  $L$  магнитным потоком  $\Phi$  (при изменении магнитного потока, пронизывающего контур) в проводе катушки индуцируется ЭДС ( $E$ ), пропорциональная скорости изменения магнитного потока  $d\Phi/dt$ , то есть пропорциональная и его величине  $\Phi$ .

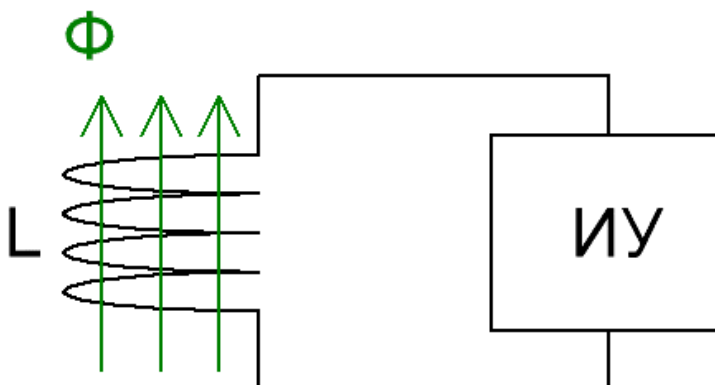


Рис. 4. Схема работы индукционного датчика

Значение индукции  $B$  переменного магнитного поля измеряются по формуле:

$$B = \frac{\Phi}{S \cdot N} \quad (2)$$

где  $S$  – площадь сечения витка;  $N$  – количество витков,  $\Phi$  – магнитный поток.

Приборы для измерения магнитного потока называются магнитометрами. Магнитометр состоит из индукционной катушки с заранее известными параметрами и интегрирующего устройства ИУ. Интегрирующее устройство представляет собой магнитоэлектрический гальванометр [4].

### 3.3 Калибровка датчика Холла

Перед началом измерения магнитного поля датчиком Холла необходимо его откалибровать. Для создания эталонного магнитного поля, необходимого для калибровки датчика Холла, используется соленоид, поскольку необходимые для расчета индукции его магнитного поля геометрические размеры и плотность намотки – легко и точно измеряемые величины [6].

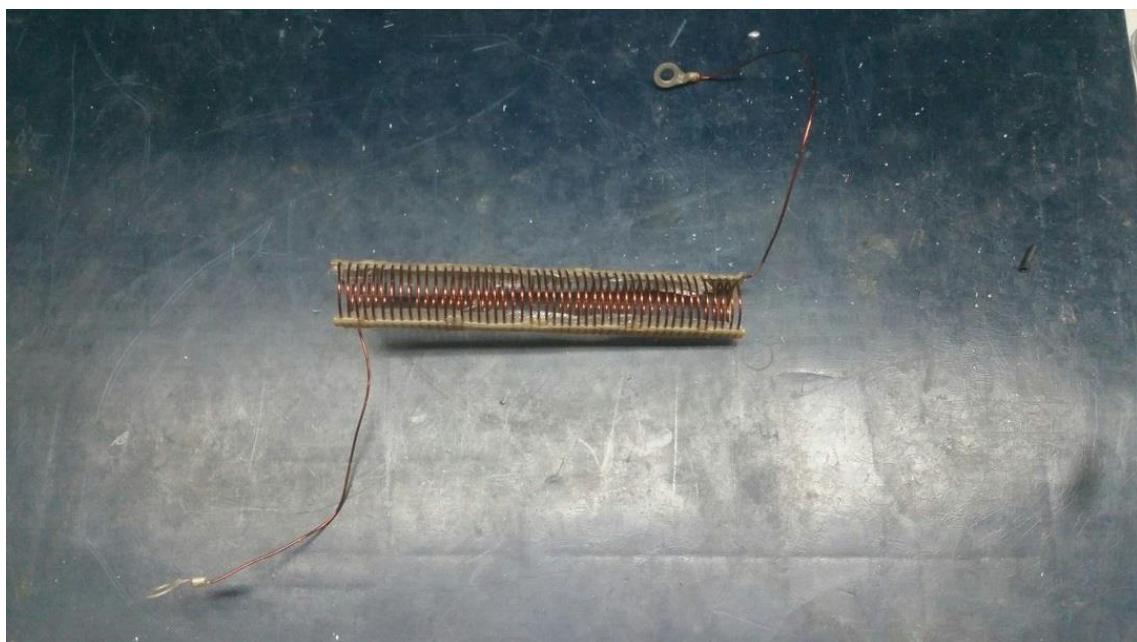


Рис. 5 – Калибровочный соленоид

Параметры соленоида:

- Полное число витков обмотки указано на держателе соленоида – 50
- Диаметр соленоида – 23 мм
- Длина соленоида – 162 мм

К клеммам соленоида подключен стабилизированный источник тока. Датчик размещен в центра соленоида. Ток меняется в диапазоне от 0 до 10 А с

шагом 0,5 А, напряжение измеряется вольтметром на выходе усилителя напряжения Холла.

Индукция магнитного поля внутри катушки определяется по формуле:

$$B = \mu_0 n I \quad (3)$$

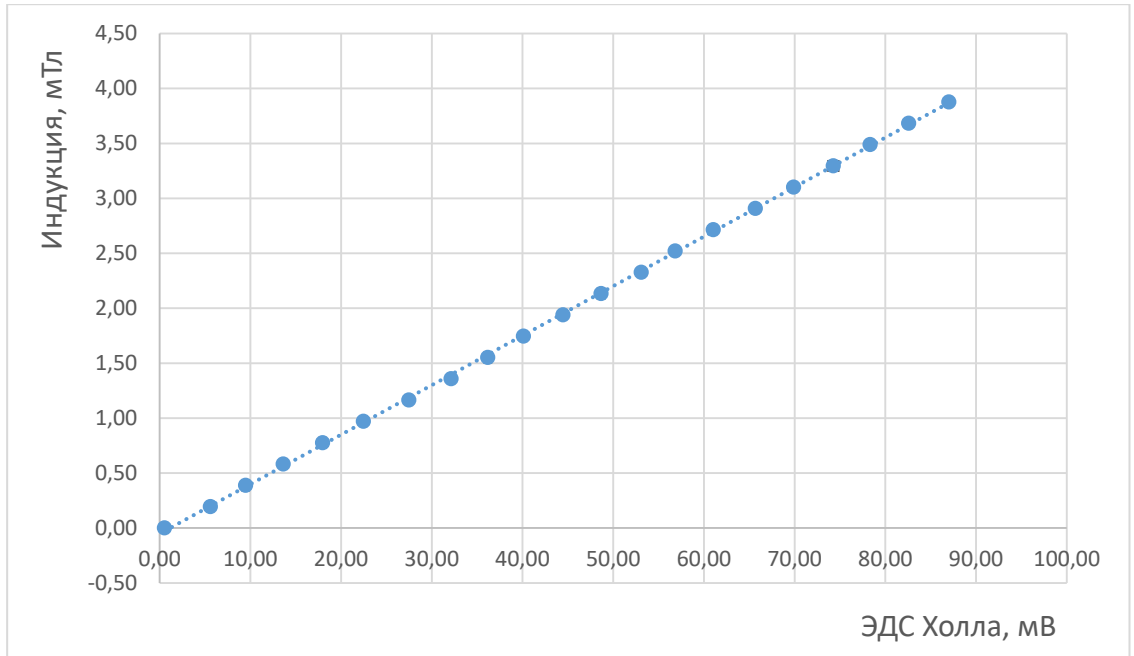


Рис. 6. Калибровочная прямая датчика Холла

Построив калибровочную прямую, можно найти значение индукции магнитного поля на выходе усилителя через соотношение:

$$B = 0,0451 \cdot E_x - 0,0519 \quad (4)$$

где  $E_x$  — ЭДС Холла

Погрешность калибровочной прямой считался по следующей формуле:

$$\bar{E}_x = \frac{1}{3} \cdot \sum_i^n E_{x_i}$$

$$\delta E_x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_i^n (E_{x_i} - \bar{E}_x)^2} \quad (5)$$

$$\Delta E_{x_i} = t \cdot \delta E_x$$

Т.к. погрешность измерения слишком мала, на калибровочной прямой ее невидно, поэтому ниже представлена погрешности для каждого измерения.

Таблица 2 – Погрешности измерений

Датчики используемые в этом эксперименте могут давать недостаточно сильный сигнал, который к тому же подвергается внутренним шумам. Для усиления сигнала и ослабления шума использовался операционный усилитель.

### 3.4 Операционные усилители

Задача измерения малых электрических сигналов является типичной задачей, возникающей при работе с различными датчиками физических величин. Чаще измерению малых сигналов подлежат медленно изменяющиеся величины, верхняя граница частотного которого лежит 1 Гц. Однако в нашей практике частотный диапазон будет гораздо выше.

Ниже приведена классификационная таблица методов измерений. Большинство этих методов основывается на предварительном усилении измеряемых сигналов. При этом находят применение электромеханические (фотогальванические) и электронные усилители, использующие принцип прямого усиления и с преобразованием спектра [8].



Рис. 7 – Краткая классификационная таблица методов измерений малых электрических сигналов

Для усиления сигнала в нашем эксперименте был использован операционный усилитель. Операционный усилитель (ОУ) – это электронный усилитель напряжения с высоким коэффициентом усиления, имеющий дифференциальный вход и обычно один выход. Напряжение на выходе может превышать разность напряжений на входах в сотни или даже тысячи раз.

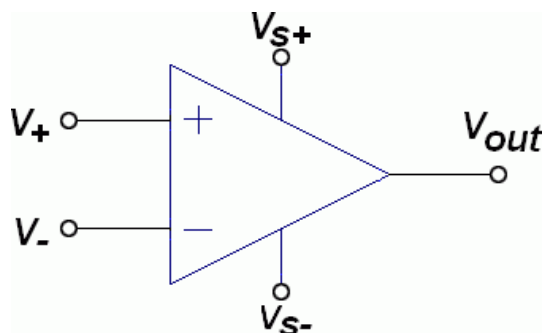


Рис. 8 – Графическое обозначение операционного усилителя.

Широкое практическое применение на ОУ нашли инвертирующий и неинвертирующий схемы включения, режим работы которых осуществляется в пределах линейного участка передаточной характеристики. Входной и выходной сигналы инвертирующего усилителя сдвинуты по фазе на  $180^\circ$ . Изменение знака выходного сигнала относительно входного создается введением по инвертирующему входу ОУ с помощью резистора  $R_{oc}$  параллельной обратной связи по напряжению. В нашем случае будет удобнее использовать неинвертирующий усилитель.

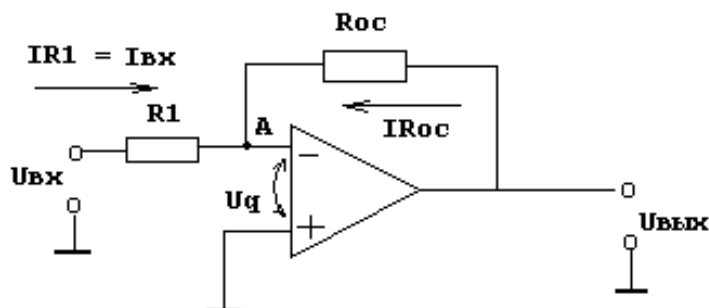


Рис. 9 – Инвертирующий усилитель

Неинвертирующий вход связан с общей точкой входа и выхода схемы (заземляется). Входной сигнал подается через резистор R1 на инвертирующий вход ОУ. Коэффициент усиления такого усилителя выражается как:

$$k = \frac{U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{R_{\text{ОС}}}{R_1}$$

Основные трудности, которые приходится преодолевать при измерении малых сигналов, связаны с мешающим влиянием внутренних шумов средств измерений и помех, наводимых различными внешними источниками. Интенсивность шумов и помех на выходе измерительного канала снижается при уменьшении частотной полосы. Поэтому для усиления малых сигналов используется, как правило, узкополосные усилители. Эксперимент будет требовать измерения высокой точности. И для того, чтобы уменьшить уровень шума и компенсировать напряжение сдвига приходится добавлять внешнюю резисторную цепь. Для этого оба выше перечисленных датчика будут работать через операционный усилитель сигнала. За основу был взят дифференциальный усилитель с Т-образными цепями [7].

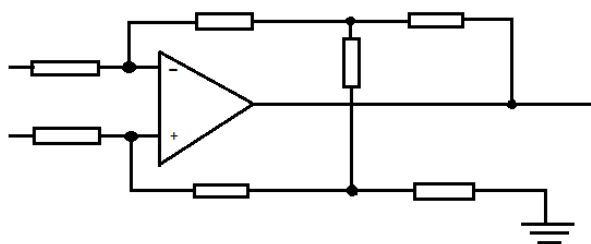


Рис. 10 – Дифференциальный усилитель с Т-образными цепями  
Эта схема была изменена на нужный лад для нашего эксперимента[8].

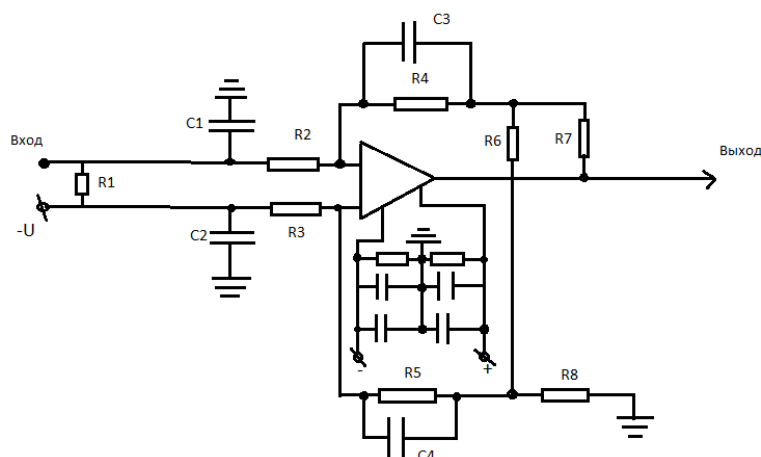


Рис. 11 – Схема операционного усилителя

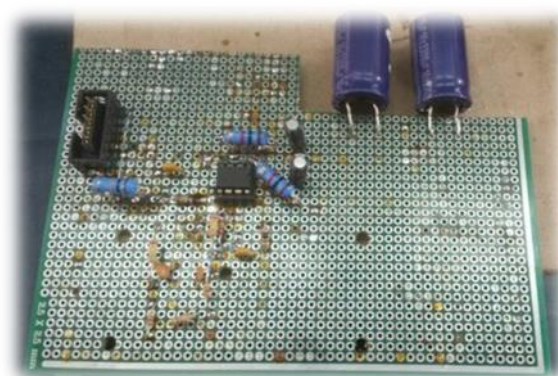


Рис. 12 – Операционный усилитель

Шунтирующие конденсаторы на входе усилителя ослабляют высокочастотные радиопомехи (длинные соединительные провода датчиков ведут себя подобно радиоантеннам). Для ограничения полосы частот усилителя подключили параллельно 250-килоомным резисторам конденсаторы номиналом 0,01 мкФ.

Элементы схемы обладают следующими параметрами:

- R1=10 кОм; R2=R3=27 кОм; R4=R5=270 кОм; R6=1 кОм; R7=R8=10 кОм;
- C1=C2= 0,1 мкФ; C7=C8=0,01 мкФ;
- Операционный усилитель – микросхема Lm 358.

Коэффициент усиления данного ОУ считается следующей формулой:

$$k = \frac{R4}{R2} \left( 1 + 2 \frac{R7}{R6} \right) + \frac{R7}{R2} \approx 200$$



### 3.5 Генератор импульсов

Для проверки работы усилителя был собран генератор прямоугольных импульсов.

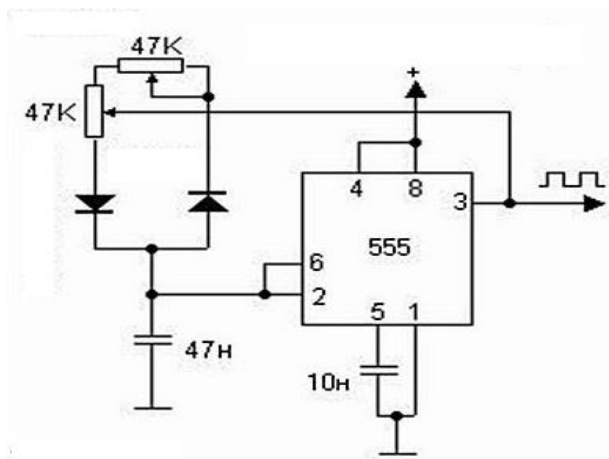


Рис. 13 – Генератор импульсов

Основными элементами схемы является микросхема NE555 и диоды 1N4148. На выходе микросхемы мы получаем последовательность прямоугольных импульсов, частоту и скважность которых можно менять в широком пределе (через регулировку подстроечных резисторов), для получения требуемых параметров.

### 3.6 Размещение датчика Холла

В данном эксперименте датчик холла был закреплен на штативе, который регулирует высоту. Линейный транслятор, на котором установлен штатив, регулирует расстояние датчика от центра ускорительной камеры будет регулироваться линейным транслятором. Сам датчик расположен перпендикулярно к линиям индукции  $B$ . Также эксперимент будет состоять из 8 измерений, в которых будут использоваться разные пространственные положения датчика.

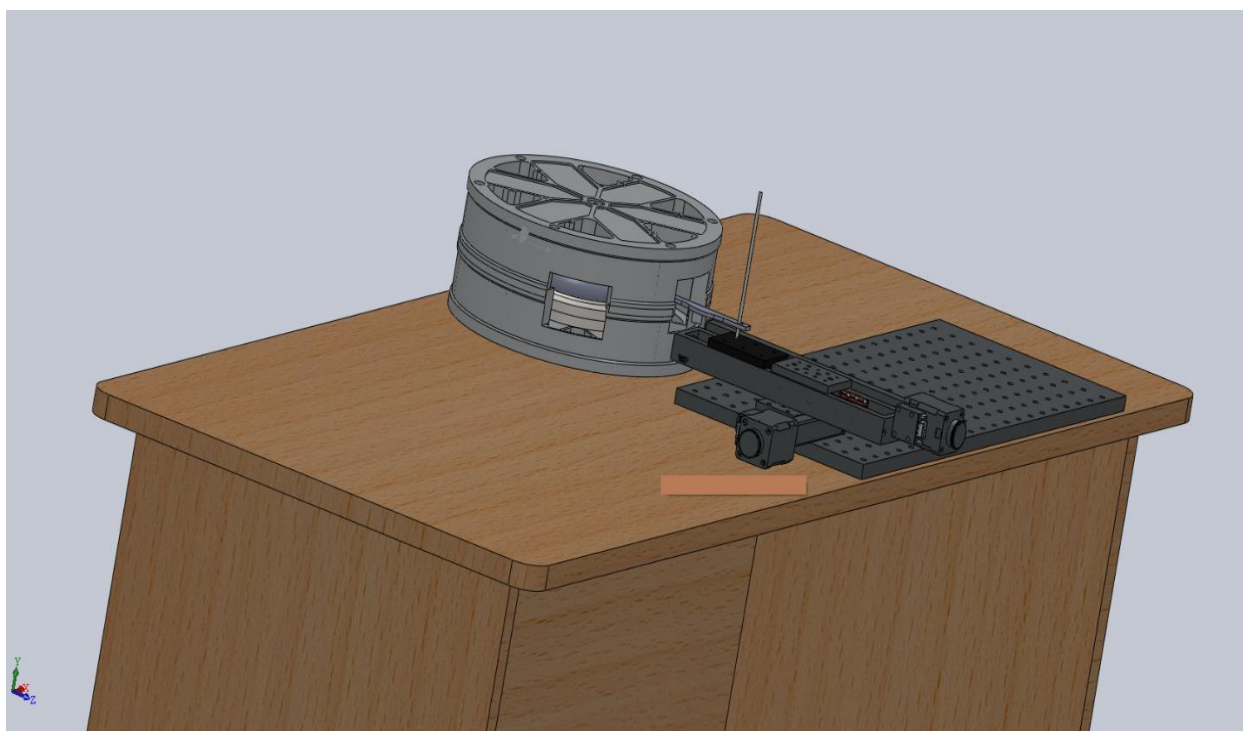


Рис. 14 – Общий вид эксперимента по измерению магнитного поля  
 Датчик Холла будет подключен к осциллографу, в котором будут измеряться сигналы производимые датчиком Холла, пропорциональные к значениям магнитной индукции, измеряемого поля.

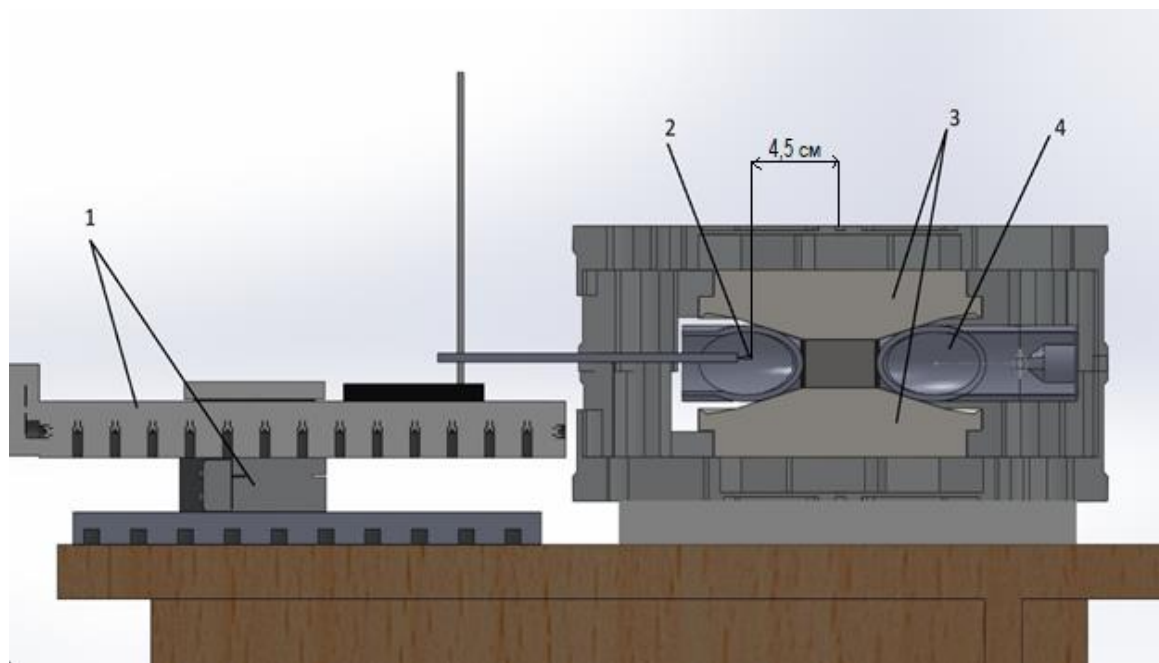


Рис. 15 – Схема проведения измерений с использованием датчика Холла. 1 – линейный транслятор; 2 – датчик Холла; 3 – электромагниты; 4 – ускорительная камера.

### 3.7 Размещение измерительной катушки

Измерительная катушка имеет следующие параметрами:

- Диаметр  $d = 1$  см
- Площадь сечения  $S = 0.78$  см<sup>2</sup>
- Количество витков  $N = 27$

Катушка аналогично датчику Холла будет закреплена на штативе, на котором положение в пространстве также будет регулироваться линейным транслятором. Круглое сечение датчика будет расположено перпендикулярно к линиям индукции  $B$ . Эксперимент будет состоят из такого же количества измерений, что и в случае с датчиком Холла.

## 4 Анализ результатов

Измерения индукции магнитного поля в межполюсном пространстве сначала проводились без ускорительной камеры, затем с тремя камерами. В обоих случаях использовался датчик Холла и измерительная катушка. В случае с датчиком Холла сигнал напряжения должен быть треугольным.

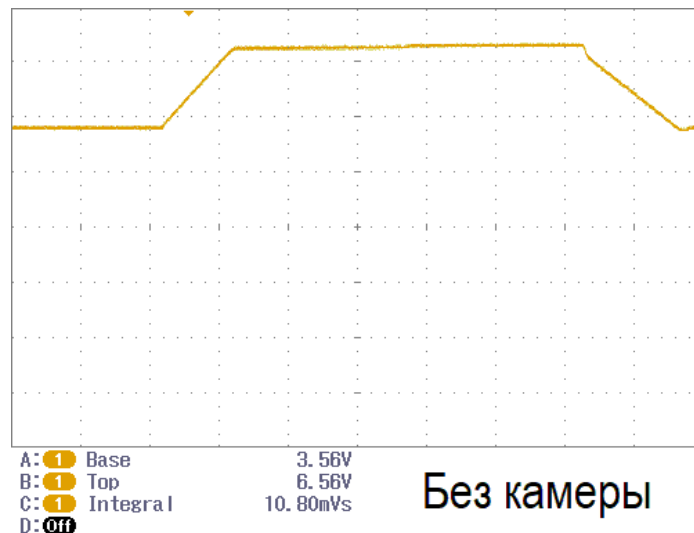


Рис. 16 – Осциллограмма сигнала индукции магнитного поля на равновесной орбите

Из осциллограммы видно, что сигнал изображен только наполовину. Это значит, что диапазон измеряемых значений датчика Холла является недостаточно высоким для данного измерения. Поэтому в дальнейшем учитывались показания, полученные только с измерительной катушки.

Сигналы, полученные с измерительной катушки, отличаются от датчика Холла. Это связано с тем, что датчик Холла повторяет сигналы тока обмотки магнитопровода, а измерительная катушка – сигнал напряжения.

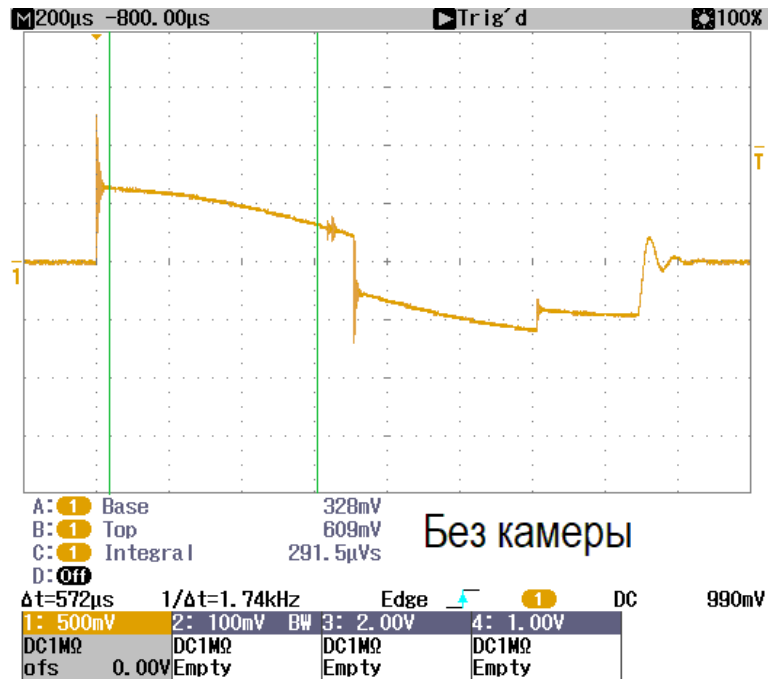


Рис. 17 – Осциллограмма с измерительной катушки на равновесной орбите (4,5см от центра бетатрона)

Площадь под сигналом в выделенной области это и есть поток магнитного поля  $\Phi$ . Зная поток через формулу (2) нашли индукцию магнитного поля

Измерения были сделаны в пяти точках (по десять раз) вдоль радиальной оси.

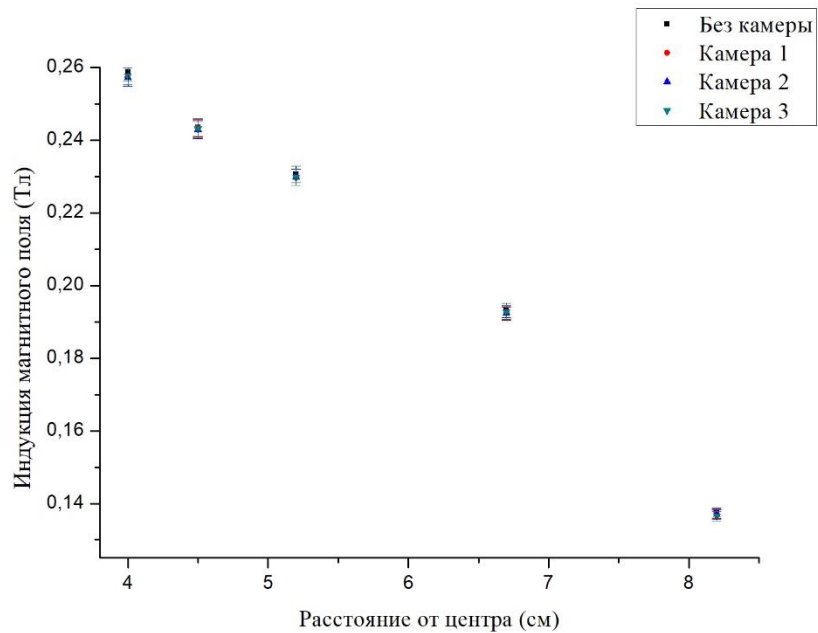


Рис.18 – Значения магнитной индукции на всех пяти точках

В выше указанном графике из-за масштаба не видно расстояния между точками и их погрешностями. Поэтому ниже изображен график показывающий значения магнитного поля на равновесной орбите (4,5 см от центра бетатрона).

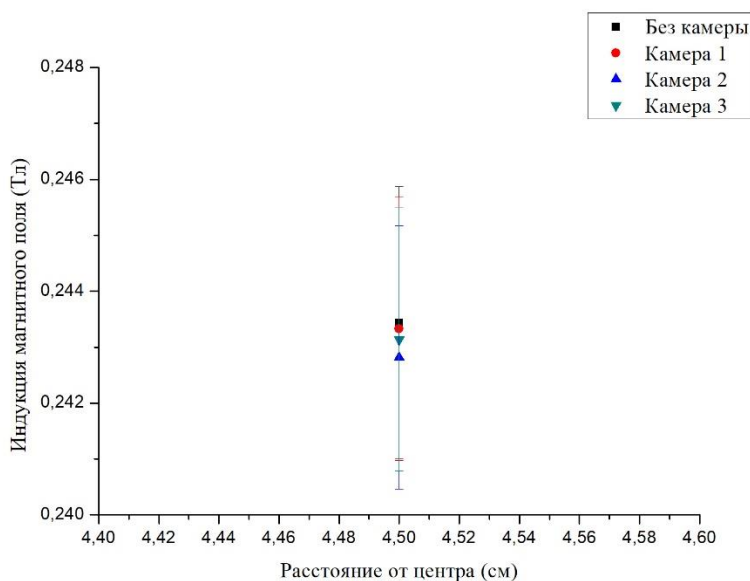


Рис. 19 – Индукция магнитного поля на равновесной орбите

Погрешности измерения индукции магнитного поля были найдены по следующим формулам:

$$\delta B = \sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial \Phi} \cdot \frac{\Delta \Phi}{B}\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial S} \cdot \frac{\Delta S}{B}\right)^2}$$

$$\Delta B = \delta B \cdot B$$

где  $S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

Таблица 3 – Результаты измерений

Расст. от центра, см	Поток магнитного поля, мкВб									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без камеры										
8,2	290,6	291,2	291	291,8	291,3	292,1	290,9	292,2	290,9	290,9
6,7	410,3	409,4	410,5	409,2	408,8	409,1	409,8	410,3	409,5	409,2
5,2	488,4	489,9	489,1	488	489,1	489,4	488,3	488,9	489,1	489,2
4,5	515,9	516,2	516,1	516,8	516,4	515,4	516,6	515,4	516,6	516,9
4	547,5	549,4	549,6	549,3	549,3	548,3	549,1	547,8	548,5	549,3
Камера 1										
8,2	290,7	291,4	291,5	291,4	291,3	290,3	290,8	290,9	290,5	291
6,7	408,3	408	408,4	407,6	408	406,9	407,8	407,9	406,9	407,2
5,2	486,5	487,9	486,5	487,8	488,4	487,8	487,9	486,4	486,8	487,8
4,5	516,1	515,8	516,4	516,4	515,5	515,6	516,7	515,5	516,1	515,9

Продолжение табл. 3

4	545,3	546	545	546,7	544,9	546	546,1	546,5	545,8	544,4
Камера 2										
8,2	209,4	208,7	208,6	208,9	207,9	209,5	208,6	208,5	209,2	208,2
6,7	408,1	408,5	407,6	408	406,8	407	407,7	408,4	408,4	408,6
5,2	488,1	487,9	487,4	486,9	486,5	487,2	487,5	486,9	487,9	487,1
4,5	514,6	515,3	514,9	514,5	514,5	515,2	515,6	514,5	514,9	515,1
4	545,8	546	545,9	546,1	545,3	545,8	545,6	545,7	545,5	545,2
Камера 3										
8,2	291,2	290,2	290,2	290,8	290,4	290,7	290,1	290,3	291,4	290
6,7	408,7	407,9	409,2	407,7	409,1	408	409,2	408,8	408,4	408,3
5,2	488,1	487,1	486,8	487,3	487,7	488,2	486,7	486,8	487,9	487,7
4,5	515,2	516,6	515,3	515,3	515,8	515,3	515,9	514,9	516,2	515,4
4	545,6	546,3	546,3	545,7	547,8	545,8	547,6	545,7	547,6	546,9

Таблица 4 – Значения индукций с вычисленными погрешностями

Расст. от центр а, см	Индукция магнитного поля							
	Без камеры	$\Delta B_0$	$B_1$	$\Delta B_1$	$B_2$	$\Delta B_2$	$B_3$	$\Delta B_3$
8,2	137,36	1,37	137,22	1,33	137,01	1,33	136,49	1,32
6,7	193,16	1,93	192,26	1,86	192,36	1,86	192,65	1,87
5,2	230,57	2,31	229,83	2,23	229,82	2,22	229,86	2,23
4,5	243,44	2,43	243,33	2,36	242,82	2,35	243,14	2,35
4	258,8	2,59	257,32	2,49	257,33	2,49	257,73	2,49

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

### **5.1 Введение**

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.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

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.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».



Методические указания содержат описание широкого спектра аналитических инструментов и расчетов. Комплекс инструментов и расчеты, проведение которых необходимо для каждой конкретной бакалаврской работы, определяется, исходя из темы научного проекта, консультантом по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» и регламентируется заданием.

## 5.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Настоящее время потребителями бетатронов Томского Политехнического Университета являются государственный пограничный контроль, дефектоскопия в области неразрушающего контроля. Также есть пока нереализованный потенциал эксплуатации в медицине в области онкологии (бетатроны на выведенных пучках).

Большая часть разработок используется для пограничного контроля. В этом сегменте основными покупателями являются Россия, Британия и Индия. Выше было сказано, что камеры имеют ограниченный срок службы, из-за чего появляется необходимость комплектовать каждый бетатрон тремя ускорительными камерами. Это в свою очередь вызывает необходимость регулярно менять камеры, что осуществляется сотрудниками лаборатории, т.к. только они имеют для этого необходимую квалификацию.

Результаты исследования могут указать на новые параметры, влияющих на выходную дозу рентгеновского излучения. При учете этих параметров можно будет снизить количество бракованных камер, что в свою очередь снизит себестоимость и соответственно цену продукта. Таким образом продукт станет более конкурентоспособным.

## 5.3 Анализ конкурентных технических решений

Таблица. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Бф – Бетатрон

К<sub>1</sub> – линейный ускоритель

Таблица 5

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	К <sub>1</sub>	Кф	К <sub>к1</sub>
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1. Надёжность	0,2	100	100	20	20
2. Интенсивность излучения	0,3	60	100	18	30
3. Компактность ускорителя	0,2	100	50	20	10
4. Простота в эксплуатации	0,1	100	80	10	8
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1. Уровень проникновения на рынок	0,05	60	100	3	5
2. Цена	0,1	100	50	10	5
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	100	100	5	5
<b>Итого</b>	1			91	83

### 5.5 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.

Проведем SWOT-анализ исследования влияния токопроводящего слоя ускорительной камеры бетатрона на магнитное поле бетатрона, т.е. опишем сильные и слабые стороны исследования и выявим возможности и угрозы.

Таблица 6 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны</b> <b>исследования:</b>	<b>Слабые стороны</b> <b>исследования:</b>
	<p>С1. Актуальность выбранной темы</p> <p>С2. Очень маленькие затраты на исследование, что связано с наличием всей необходимой аппаратуры в лаборатории.</p> <p>С3. Применение современного оборудования.</p> <p>С4. Несложность проведения измерений.</p>	<p>Сл1. Незнученность метода измерений.</p> <p>Сл2. Ограниченность применения.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Повышение конкурентоспособности за счет привлекательности цены.</p> <p>В2. Уменьшение количества бракованных камер.</p> <p>В3. Уменьшение себестоимости разработки бетатрона.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обеспечение условий эксперимента</li> <li>2. Устранение выявленных проблем в бракованных изделиях</li> <li>3. Проведение дальнейших исследований.</li> </ol>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</p> <p>Связи с тем, что такое исследование проводятся впервые на бетатроне. При обнаружениях достаточно значимом влиянии токопроводящего слоя, можно будет предполагать, что подобные проблемы могут возникнуть и в других ускорителях</p>

Продолжение табл. 7

<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие спроса на исследование.</p> <p>У2. Возможное низкое влияние слоя на магнитное поле.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</p> <p>Вполне возможно, что даже при положительных результатах исследования (т.е. достаточно значимом влиянии токопроводящего слоя), устранение выявленных проблем может оказаться экономически нецелесообразным.</p>	<p>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</p> <p>Если влияние токопроводящего слоя окажется недостаточно значимым, то снова появится неопределенность по поводу источника возникновения больших разбросов дозы излучения.</p>
---	---	--

## 5.6 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.6.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому

виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в табл. 5.

Таблица 8

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель Инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Построение 3D модели эксперимента	Инженер
	6	Подготовка оборудования для проведения эксперимента	Руководитель Инженер
	7	Повторное проведение эксперимента	Инженер
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по НИР	9	Составление пояснительной записки	Инженер

## 5.6.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (2)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

Таблица 9 – Расчет трудоемкости и продолжительности одной работы

№	$t_{ож\ i}$ , чел.-дни	$Ч_i$ , чел	$T_{р\ i}$ , дни
1	1,8	1	1,8
2	9,8	1	9,8
3	1,4	1	1,4
4	2,6	2	1,3
5	12,6	1	12,6
6	12,6	2	6,3
7	2,6	1	2,8
8	2,6	1	2,4
9	10	1	2,4

### 5.6.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

**Диаграмма Ганта** – горизонтальный ленточный график, на котором 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:

$$T_{ки} = T_{рi} \cdot k_{кал}, \quad (3)$$

где  $T_{ки}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{рi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22 \quad (4)$$

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.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу.

Таблица 10 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Грудоемкость						Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$	
	$t_{\min i}$ , чел-дни		$t_{\max}$ , чел-дни		$t_{\text{ожид}}$ , 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	1		3		1,8		1,8		2	
Подбор и изучение материалов по теме		7		14		9,8		9,8		12
Выбор направления исследований	2		3		2,4			2,4		3
Календарное планирование работ по теме	0,5	0,5	2	2	1,3	1,3	1,3	1,3	2	2
Построение 3D модели эксперимента		7		14		12,6		12,6		15
Подготовка оборудования для проведения эксперимента	3,5	3,5	7	7	6,3	6,3	6,3	6,3	8	8
Повторное проведение эксперимента		1		4		2,6		2,6		3
Анализ полученных результатов		1		4		2,6		2,6		3
Составление пояснительной записки		6		10		10		10		12



На основе табл. 8 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе табл. 9 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.

Таблица 11 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т <sub>кi</sub> , кал дн.	Продолжительность выполнения работы													
				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	2	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	12		□												
3	Выбор направления исследований	Руководитель	3			■											
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель Инженер	2				■	□									
5	Построение 3D модели эксперимента	Инженер	15					□									
6	Подготовка оборудования для проведения эксперимента	Руководитель Инженер	8							■	□						
7	Повторное проведение эксперимента	Инженер	3									□					
8	Анализ полученных результатов	Инженер	3										□				
9	Составление пояснительной записки	Инженер	12												□		

■ – руководитель      □ – инженер

#### 5.6.4. 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:

- материальные затраты НТИ;
- 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.

##### 5.6.4.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в табл.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Все расчеты по приобретению спецоборудования и оборудования, имеющегося в организации, но используемого для каждого исполнения конкретной темы, сводятся в табл. 8.

Таблица 12

№	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб	Общая стоимость
1	МИБ-4	1	3 000 000	3 000 000
2	Датчик Холла	1	115	115
3	Осциллограф	1	115000	115000
4	Резистор 1 кОМ	1	2	2
5	Резистор 10 кОМ	3	3	9
6	Резистор 27 кОМ	2	4	8
7	Резистор 270 кОМ	2	3	6
8	Подстроечный резистор 47 кОМ	2	16	32
9	Конденсатор 0,01 мкФ	2	8	16
10	Конденсатор 0,1 мкФ	2	34	68
11	Конденсатор 10 нФ	2	21	42
12	Конденсатор 47 нФ	2	2	4
13	Микросхема Lm 358	1	12	12
14	Микросхема NE 555	1	18	18
15	Диод 1N4148	2	4	8

#### 5.6.4.2 Затраты на электроэнергию

Таблица 13 – Затраты на электроэнергию всех оборудований

Оборудование	Потребляемая мощность, кв/ч	Время пользования, ч
Бетатрон МИБ-4	300	6
Осциллограф	0,5	6
Ноутбук	0,06	126

Затраты на электроэнергию рассчитываются по следующей формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 5,8 \cdot (300 + 0,06 + 0,5) \cdot 6 = 10459, \quad (5)$$

где  $C_{\text{эл}}$  – тариф на промышленную электроэнергию, руб.;  $P$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;  $F_{\text{об}}$  – время использования оборудования, ч.

#### 5.6.4.3 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования учтены затраты по его доставке в размере 15% от его цены. Для данной исследовательской работы не было приобретено дополнительных материалов. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений. К спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальной работы относится бетатрон МИБ-4, стоимость которого составляет около 3 млн рублей, срок службы – 10 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = \frac{C_{\text{об}}}{T} = 822 \text{ руб/дн}$$

где  $C_{\text{об}}$  – стоимость оборудования;  $T$  – срок службы

#### 5.6.4.4. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. 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.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (6)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12–20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (7)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;  $F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14

Продолжение табл. 14

Потери рабочего времени		
- отпуск	56	48
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} (1 + k_{пр} + k_d) k_p \quad (8)$$

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

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от  $Z_{тс}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

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

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор. Базовый оклад  $Z_b$  определяется исходя из размеров окладов, определенных штатным расписанием предприятия.

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

3) иные выплаты; районный коэффициент.

Таблица 15 – Расчет заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	17 105	0,3	0,3	1,3	35578	1522	9	13704
Инженер	9893	0,3	0,3	1,3	20577	853	48	40924

#### 5.6.4.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые фонды)

В данном разделе расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (11)$$

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

На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 27.1 %.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда научному руководителю представлен в таблице.

Таблица 16 – Отчислений во внебюджетные

Наименование	Научный руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	13266	40924
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0.271	0,271
Итоговая сумма отчислений, руб.	3595	11090

#### 5.6.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) 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.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование	Сумма, руб.
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	54190
Отчисления во внебюджетные фонды	14685
Накладные расходы	10459
Материальные затраты	340
Амортизационные отчисления	822
Бюджет затрат НТИ	80496

Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) 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.



## **6 Социальная ответственность**

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

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

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

Опасным производственным фактором 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.

### **6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов**

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

таблице 18. Приведены основные вредные и опасные факторы производственного процесса.

Таблица 18 – 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	
Работа с компьютером и измерение переменного магнитного поля бетатрона.		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»
		Пожарная	ГОСТ Р 12.3.047-2012 ССБТ. Пожарная безопасность

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

- физические
- температура и влажность воздуха;
- температура оборудования;
- шум;
- статическое электричество;

- электромагнитное поле высокой частоты;
- освещенность;
- наличие излучения.
- вредные вещества
- психофизиологические (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

6.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на персонал.

### 6.2.1 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.

### 6.2.2 Технические мероприятия

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 1.

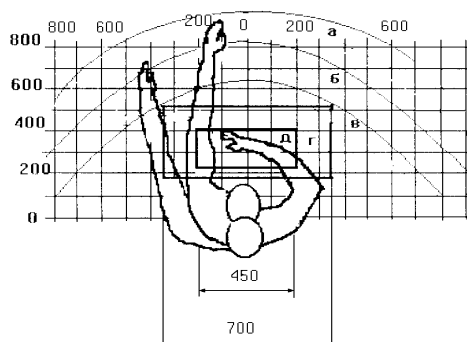


Рис. 20 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

а - зона максимальной досягаемости рук;

б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;

в - зона легкой досягаемости ладони;

г - оптимальное пространство для грубой ручной работы;

д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

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

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до

переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

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

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 градусов. 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.

### 6.2.3 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 приведены в таблице 8.1.

Таблица 19 – 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 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40%, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С. В лаборатории осуществляется естественная вентиляция. Воздух

поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне. При выполнении работы на ПЭВМ и с магнитным полем бетатрона 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. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

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

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 мкбэр/час. Конструкция ЭВМ долж на обеспечивать мощность экспозиционной 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.

### 6.3 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ и др. электрических установках 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 в следующих случаях:

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

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок.



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

#### 6.4 Пожарная и взрывная безопасность

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

Возможные причины загорания:

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

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

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

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

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

исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);

применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- Сообщить руководству (дежурному).
- Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
- Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

## Заключение

В ходе дипломной работы были выполнены следующие задачи:

- Изучены конструкция бетатронной камеры и в том числе токопроводящий слой
- Изучены методы измерения магнитного поля
- Разработаны измерительные аппаратуры
- Проведены измерения на действующем лабораторном стенде на базе бетатрона МИБ-4.

Во время проведения эксперимента обнаружилось, что датчик Холла не подходит для проведенных измерений, т.к. обладает недостаточно высоким диапазоном измерений (меньше 0,2 Тл). Поэтому результаты исследования опираются на показания измерительной катушки.

По результатам исследований были сделан вывод, что влияние токопроводящего слоя ускорительной камеры на магнитное поле бетатрона незначительно и для определения характера влияния необходимо провести более точное измерение, т.е. использование высокочувствительных датчиков. Однако подобное исследование будет лишено своего экономического потенциала, т.к. внутренний покров ускорительной камеры не является причиной ее брака.

## Список литературы

1. Москалёв В.А., Сергеев Г.И. // Индукционный ускоритель электронов – бетатрон: учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета – 2012.
2. Иванов С.А., Щукин Г.А. // Рентгеновские трубки технического назначения. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989.
3. Власов А.Г., Окулов Б.В., Пономарев В.П., Слупская А.И. // Оксидно-Ториевые катоды для инжекторов бетатронов: Известия Томского ордена октябрьской революции и ордена трудового красного знамени Политехнического Института, 1969.
4. Измерение индукции переменного магнитного поля с помощью измерительной катушки [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://imlab.narod.ru/>
5. Электрические измерения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/izmeren/>
6. Киров С.А., Салецкий А.М., Харабадзе Д.Э. // Создание и измерение магнитного поля: Учебное пособие. М.: ООП Физ. Фак-та МГУ, 2010.
7. Хоровиц П., Хилл У. // Искусство схемотехники: Пер. с англ. – Изд. 2-е – М.: Издательство БИНОМ. – 2014.
8. Спектор С.А. // Электрические измерения физических величин: Методы измерений: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987.
9. Черняев А.П. // Ускорители в современном мире. – М.: Издательство Московского университета, 2012.
10. Зенков Д.И., Костин А.Н., Козлов М.Б. // Компактный источник тормозного излучения на базе безжелезного бетатрона 12<sup>th</sup> International Conference on High Power Particle Beams. Highfy. Proceedings, 1998.

11. Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П. // Особенности регистрации высокоэнергетического тормозного излучения в досмотровом контроле. – 2006.
12. Касьянов В.А. Романова В.А., Чахлов В.Л. // Магнитна система цилиндрического бетатрона: Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. – Дубна, 1987.
13. Лебедев М.Б., Усачев Е.Ю., Чумаков Д.М., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Сидуленко О.А., Штейн М.М., Чахлов С.В. // Установка для рентгеновского контроля крупногабаритных объектов (грузовых и легковых автомобилей, контейнеров для морских и авиаперевозок). Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: Материалы VI Международной конференции. 15-17 мая, 2007. – М.: Машиностроение, 2007.
14. Тер-Микаэлян М.А. // Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях. – Ереван: Изд-во Ан АрмССР, 1969.
15. Фурман Э.Г. // Бетатрон с подмагничиванием. – Томск: Изд. ТПУ, 2000
16. Акимочкин Ю.И., Гончаров В.Я., Москалев В.А. // Цилиндрический бетатрон. Атомная энергия. – 1993.
17. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07.
18. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ Опасные и вредные факторы. Классификация [Текст]. – Взамен ГОСТ 12.0.002-74; введ. 1976-01-01. – М.: ИПК: Изд-во стандартов, 2002.
19. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01 07. – М.: Издательство стандартов, 1988.
20. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений [Текст]. Взамен СНиП 2.01.02-85; введ. 1998-01-01. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1999.