

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**  
 Отделение **электронной инженерии**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Источник регулируемого тока для катушек Гельмгольца
УДК 621.318.43:537.612

#### Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7Б	Урумбасарова Гаухар Асилхановна		

#### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭИ	Баранов Павел Федорович	к.т.н.		

#### Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель ОЭИ	Коломейцев Андрей Анатольевич	-		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	д-р экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева Ирина Ивановна	-		

#### Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Арышева Галина Владиславовна	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

Томск – 2021 г.

## Планируемые результаты освоения ООП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;
ОПК(У)-2	Способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;
ОПК(У)-3	Способность решать задачи анализа и расчета характеристик электрических цепей;
ОПК(У)-4	Готовность применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации;
ОПК(У)-5	Способность использовать основные приемы обработки и представления

	экспериментальных данных;
ОПК(У)-6	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий;
ОПК(У)-7	Способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;
ОПК(У)-8	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности;
ОПК(У)-9	Способность использовать навыки работы с компьютером, владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования
ПК(У)-2	Способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения
ПК(У)-3	Готовность анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций
ПК(У)-4	Способность проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектов
ПК(У)-5	Готовность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования
ПК(У)-6	Способность разрабатывать проектную и техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы
ПК(У)-7	Способность осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам

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

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**  
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ В.С. Иванова  
 (Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1А7Б	Урумбасарова Гаухар Асилхановна

Тема работы:

Источник регулируемого тока для катушек Гельмгольца	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25-15/с от 25.01.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18.06.2021
--	------------

#### 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>Объектом проектирования является разработка источника регулируемого тока для катушек Гельмгольца.          Цель работы – разработка источника регулируемого тока для катушек Гельмгольца; проведение моделирования.</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>Теоретический обзор предметной области;          Разработка структурной схемы;          Описание назначения элементов устройства;          Разработка схемы электрической принципиальной;          Разработка конструкции печатной платы;          Разработка катушек Гельмгольца.</p>

<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Сборочный чертеж ФЮРА.436431.019 СБ Схема электрическая принципиальная ФЮРА. 436431.019 ЭЗ
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов Магеррам Али оглы
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	01.02.2021
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭИ	Баранов Павел Федорович	к.т.н.		
старший преподаватель ОЭИ	Коломейцев Андрей Анатольевич	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7Б	Урумбасарова Гаухар Асилхановна		09.02.2021

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

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **11.03.04 Электроника и наноэлектроника**

Уровень образования **бакалавриат**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2020 /2021 учебного года)

Форма представления работы:

**бакалаврская работа**

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	18.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2021	<i>Раздел 1. Обзор литературы по источникам тока</i>	14
20.03.2021	<i>Раздел 2. Кольца Гельмгольца</i>	14
15.04.2021	<i>Раздел 3. Проектирование источника тока</i>	14
03.05.2021	<i>Раздел 4. Макетирование источника тока</i>	14
15.05.2021	<i>Раздел 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</i>	14
26.05.2021	<i>Раздел 6. Социальная ответственность</i>	14
10.06.2021	<i>Оформление ВКР</i>	16

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОЭИ	Баранов Павел Федорович	к.т.н.		

**Консультант**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель ОЭИ	Коломейцев Андрей Анатольевич	-		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1А7Б	Урумбасарова Гаухар Асилхановна

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОЭИ</b>
<b>Уровень образования</b>	бакалавриат	<b>Направление</b>	11.03.04 Электроника и наноэлектроника

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведение оценки экономической эффективности исследования получения полиметилметакрилата суспензионным способом</i>

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

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Альтернативы проведения НИ*
4. *График проведения и бюджет НИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ*

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	27.02.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		27.02.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1А7Б	Урумбасарова Гаухар Асилхановна		27.02.2021

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1А7Б	Урумбасарова Гаухар Асилхановна

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Тема ВКР:

Источник регулируемого тока для катушек Гельмгольца
---

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – источник тока. Рабочая зона – 104 аудитория 4 корпуса. Присутствует местная вытяжная вентиляция, приборы, позволяющие закреплять или держать элементы, предназначенные для пайки. Площадь отапливаемого помещения 16 м<sup>2</sup>, высота помещения 4 м, объем 64м<sup>3</sup>. Освещение смешанное, наличие ПК и рабочего стола оператора. Технологический процесс: включает в себя разработку схемы, проектирование платы в программе Altium Designer, разработку конструкции источника тока и пайку. Область применения – в аудитории для питания колец Гельмгольца.</p>
---	---

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

<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ТК РФ от 30.12.2001 N197-ФЗ.</p> <p>Законодательные и нормативные акты по теме:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.0.003-2015.</li> <li>– ГОСТ 12.0.004-2015.</li> <li>– ГОСТ 12.1.002-84.</li> <li>– ГОСТ 12.1.003-2014.</li> <li>– ГОСТ 12.1.005-88</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78.</li> <li>– ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ</li> <li>– ГОСТ Р 22.0.02-2016</li> <li>– ГОСТ Р 53692-2009</li> <li>– Конституция Российской Федерации.</li> <li>– СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.</li> <li>– СанПиН 1.2.3685-21.</li> <li>– СП 485.1311500.2020</li> </ul>
--	---



	<ul style="list-style-type: none"> <li>– СП 486.1311500.2020</li> <li>– Федеральный закон №123– ФЗ от 22.07.2008 г.</li> <li>– Федеральный закон №421– ФЗ от 28.12.2013 г.</li> <li>– Федеральный закон №426 – ФЗ от 28.12.2013 г.</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность:</b></p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Выявить вредные факторы в аудитории: освещенность, шум, вибрацию, микроклимат, вредные вещества.</p> <p>Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– влияние психофизиологических факторов: монотонность труда, физические и эмоциональные перегрузки, умственное перенапряжение;</li> <li>– Выявить опасные факторы, относящиеся к оборудованию: повышенный уровень напряженности электростатического поля, повышенный уровень электромагнитных полей (ЭМП), электроопасность, ожоги.</li> </ul>
<p><b>3. Экологическая безопасность:</b></p>	<p>Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– необходимость применения санитарно-защитной зоны из-за отходов;</li> <li>– необходимость осуществлять отдельный сбор и хранение отходов, подвергать их обработке, утилизации или захоронению.</li> <li>– Отходы: компьютерная техника и периферийные устройства, люминесцентные лампы, макулатура, ветошь.</li> </ul>
<p><b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p>	<p>Возможные ЧС: пожар, взрыв, разрушение зданий, в результате разрядов атмосферного электричества. Наиболее типичная ЧС – пожар.</p> <p>Профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации ее последствий:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного щита;</li> <li>2. Обеспечение средствами индивидуальной защиты (СИЗ);</li> <li>3. Организационная эвакуация работников.</li> </ol>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

01.03.2021

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А7Б	Урумбасарова Гаухар Асилхановна		02.03.2021

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит: 92 страницы, 24 рисунка, 25 таблиц, 32 источника, 5 приложений.

Ключевые слова: источник тока, катушки Гельмгольца, стабильный источник тока, регулируемый источник тока, клетка Гельмгольца.

Объектом исследования является разработка источника регулируемого тока для катушек Гельмгольца.

Цель работы – разработка источника регулируемого тока для катушек Гельмгольца; проведение моделирования; проектирование катушек Гельмгольца.

В процессе исследования проводилось изучение литературы по источникам тока, изучение программной среды Arduino IDE, моделирование преобразователя напряжения в ток в среде NI Multisim 14.2. тестирование макета источника тока. Схема электрическая принципиальная выполнена в САПР Altium Designer 19.1.9.

В результате исследования была разработана схема электрическая принципиальная, создана 3D-модель печатного узла, программный код

В будущем планируется собрать клетку Гельмгольца и протестировать макет источника тока вместе с клеткой Гельмгольца.

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

**В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:**

«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 9 марта 2021 года)

ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования, 2001. 29

ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация, 2015

СанПиН 1.2.3685-21. "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", 2021.

Специальная оценка условий труда в Томском политехническом университете, 2019.

Правила устройства электроустановок. 7-е издание, 2020.

ТИ Р М-075-2003. Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником, 2003.

ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны, 1988

«Об отходах производства и потребления» от 24.06.98 г. N 89-ФЗ (ред. от 14 июня 2020 года) ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов, 2009

ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий, 2016.

СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования, 2020

Технический регламент "О требованиях пожарной безопасности" от 22.07.08 г. N 123-ФЗ

НПБ 104-03 Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях (Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях)

**В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:**

Катушка Гельмгольца - это устройство для создания приблизительно однородного магнитного поля. Конструкция выполнена из двух одинаковых кольцевых катушек, расположенных симметрично относительно общей оси, на расстоянии друг от друга, равном радиусу катушек. В обеих катушках одинаковый ток.

Клетка Гельмгольца - система из трёх пар квадратных катушек, установленных взаимно перпендикулярно друг другу.

**В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:**

НТИ – научно-техническое исследование;

ОС – обратная связь;

ОУ – операционный усилитель;

ПО – программное обеспечение;

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь.

## Оглавление

Введение.....	16
1 Обзор литературы по источникам тока .....	17
2 Кольца Гельмгольца.....	33
2.1 Расчет колец Гемльгольца.....	33
2.2 Создание катушек Гельмгольца .....	34
3 Проектирование источника тока .....	40
3.1 Структурная и функциональная схемы .....	40
3.2 Подбор компонентов .....	41
3.3 Моделирование в программе Multisim .....	43
3.4 Разводка платы .....	45
3.5 Создание корпуса.....	45
3.6 Написание кода .....	46
3.7 Тестирование макета.....	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 49	
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	49
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	49
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	50
4.1.3 SWOT-анализ .....	52
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	56
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	56
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	57
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	58
4.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	59
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	67
5 Социальная ответственность .....	71
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	71

5.2 Производственная безопасность .....	72
5.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	72
5.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего) .....	73
5.3 Экологическая безопасность.....	80
5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .....	80
5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду .....	81
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	82
5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС .....	82
5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС .....	84
5.5 Выводы по разделу .....	87
Заключение .....	88
Список использованных источников .....	89
Приложение А_Схема электрическая принципиальная ФЮРА. 436431.048 ЭЗ .....	94
Приложение Б_Перечень элементов ФЮРА.436431.048 ПЭЗ .....	96
Приложение В_Код.....	97
Приложение Г_Временные показатели проведения научного исследования	100
Приложение Д Календарный план-график проведения НИОКР .....	102

## **Введение**

Катушки Гельмгольца применяют для создания магнитного поля. Их можно использовать для проверки работоспособности кубсатов в магнитном поле Земли. Для питания катушек Гельмгольца нужен управляемый источник тока, который будет выдавать малые токи, не больше 0,2 А.

В данной работе представлена разработка источника регулируемого тока для катушек Гельмгольца. Актуальность данной работы заключается в том, что данный источник тока позволит с высокой точностью задавать значение магнитного поля.

Целью работы является спроектировать источник тока, который позволит с высокой точностью задавать значение магнитного поля в системе катушек Гельмгольца.



## 1 Обзор литературы по источникам тока

Важной характеристикой источника тока является стабильность. Ниже приведены примеры источников тока с высокой стабильностью.

В статье [1] рассмотрена концепция двухступенчатого источника тока, которая отличается малотоковым шумом, отличным дрейфом и стабильностью для более высоких рабочих токов.

Первая ступень фильтра представляет собой сильноточный источник питания, вторая – прецизионный слаботочный. Вторая ступень корректирует колебания первой ступени. При максимальном рабочем токе 1 А плотность токовых шумов составляет  $126 \text{ нА}/\sqrt{\text{Гц}}$  (на частоте 1 кГц), длительная стабильность –  $\pm 2,1 \text{ ppm}$ , температурный коэффициент –  $8 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ , для меньших значений рабочих токов шум составил менее  $1 \text{ нА}/\sqrt{\text{Гц}}$ . Представленная схема недорогая в изготовлении, нетермально стабилизированная и обладает малыми размерами ( $6,45 \times 7,74 \text{ см}^2$ ).

### Описание установки

Основной особенностью представленной схемы является параллельное соединение двух источников тока CS1 и CS2, где токи суммируются с нагрузкой и считывающим резистором (рисунок 1).

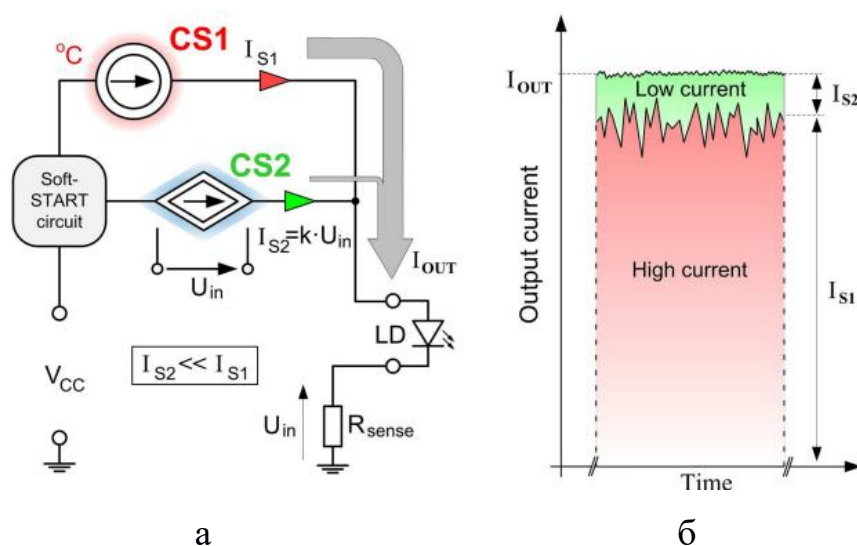


Рисунок 1 – Концепция двухкаскадного источника тока: (а) Общая схема схемы, (б) Графическое представление принципа работы источника тока [1]

CS1 – это автономный источник, который обеспечивает большую часть тока нагрузки. Его рабочая температура достигает даже 80°C при токе нагрузки 1 А, что вызывает снижение стабильности постоянного тока, более высокий уровень шума и долговременный дрейф.

CS2 - более точный источник тока, управляемый напряжением на сенсорном резисторе ( $R_{SENSE}$ ). Его рабочий ток ( $I_{S2}$ ) составляет всего несколько мА и добавляется к основному току  $I_{S1}$ , образуя выходной ток -  $I_{OUT}$  (рисунок 2 б). Таким образом, несмотря на малое значение тока  $I_{S2}$ , именно он играет решающую роль, корректируя основные колебания тока  $I_{S1}$  и, как следствие,  $I_{OUT}$ .

Поскольку гораздо легче получить более высокую стабильность и более низкий уровень шума при малых рабочих токах, этот факт был использован в представленной конфигурации двухступенчатого источника тока, где точный источник CS2 является регулирующей схемой (вторая ступень стабилизации тока). Схема источника тока показана на рисунке 2.

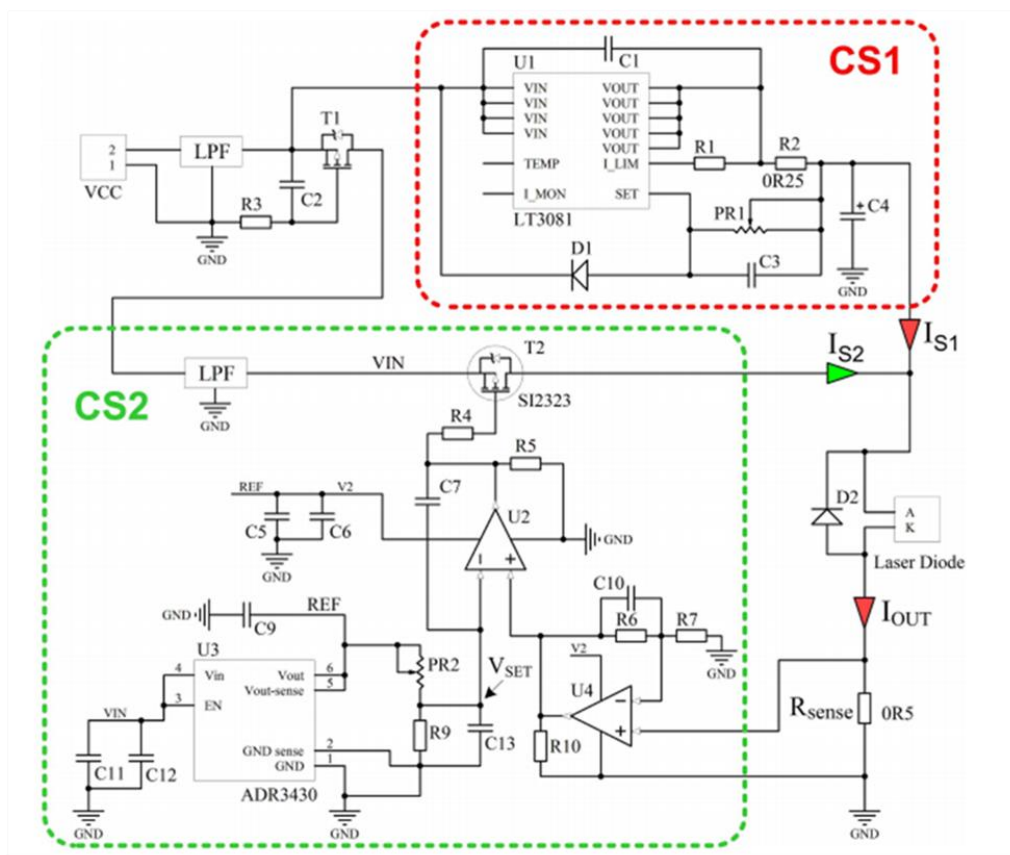


Рисунок 2 - Схематическое изображение двухступенчатого источника тока [1]

Питание на схему можно подавать от любого стабильного и фильтрованного стабилизатора напряжения или источника питания с низким уровнем шума (разъем VCC). Во время экспериментов использовался источник питания с шумом выходного напряжения меньше 350 мкВ среднеквадратичного значения (Rigol DS832A). В качестве нагрузки использовали три последовательно соединенных кремниевых диода (1N5402).

Входное напряжение фильтровалось подсхемой фильтра нижних частот (LPF), которая состоит из серии керамических и танталовых конденсаторов (10, 100 и 47 мкФ) и микросхемы фильтра подавления электромагнитных помех (NFM21PC105B1A3) с емкостью 1 мкФ.

Система состоит из двух источников тока CS1 и CS2. Плавный пуск источника CS2 по току осуществляется с помощью элементов T1, C2 и R3 на полевых транзисторах металл-оксид-полупроводник (MOSFET).

Высокая стабильность источника тока достигнута благодаря использованию второй ступени источника тока CS2, тщательному выбору резистора  $R_{SENSE}$  и стабильности линейного стабилизатора LT3081.

Резистор  $R_{SENSE}$  должен быть точным и термически стабильным. Это приводит к улучшению свойств дрейфа тока. Для источника с высоким рабочим током трудно установить значение этого сопротивления. Его значение выбирается из тех соображений, что сопротивление резистора  $R_{SENSE}$  должно быть достаточно большим, чтобы обеспечить высокое падение напряжения для лучшей точности и динамики регулирования тока, но при этом достаточно маленьким, чтобы уменьшить рассеивание тепловой мощности, шум Джонсона и нежелательное уменьшение падения напряжения на лазерном диоде. В представленной схеме были параллельно включены два резистора размером 1206 для поверхностного монтажа 1 Ом, таким образом, их общее сопротивление 0,5 Ом. Это обеспечивает низкий тепловой шум и очень низкий импеданс источника сигнала, что снижает влияние шума входного тока операционных усилителей. Кроме того, этот резистор должен быть подключенным по схеме Кельвина (также называемой четырехконтактной конфигурацией), что обеспечивает наиболее точные измерения тока и, как следствие, стабильность постоянного тока.

Для обеспечения стабильности линейного регулятора LT3081 к нему подключили выходной шунтирующий конденсатор C1. Шунтирующий конденсатор C3, установленный на резисторе установки напряжения PR1, также снижает системный шум, гасит звон и обеспечивает функцию плавного пуска для CS1.

В статье [2] описан источник тока, разработанный для точного управления амплитудой и формой тока, протекающего через гальваническую ванну, а также для записи сигнала обратной связи выходного напряжения. Токовая цепь в основном состоит из трех модулей: первый модуль представляет собой изолированный источник питания для обеспечения цепи необходимой мощностью (12 В и 2 А), а второй модуль предназначен для

измерения сигнала обратной связи с помощью микроконтроллера, а также для управления напряжением, которое подается на третий модуль – цепь тока, управляемую напряжением (VCCC).

Микроконтроллер устанавливает напряжение с помощью цифро-аналогового преобразователя через последовательный периферийный интерфейс (SPI). Сигнал обратной связи с выхода подключается к аналого-цифровому преобразователю и обратно к микроконтроллеру через протокол интегрированной схемы (I2C), как показано на рисунке 3.

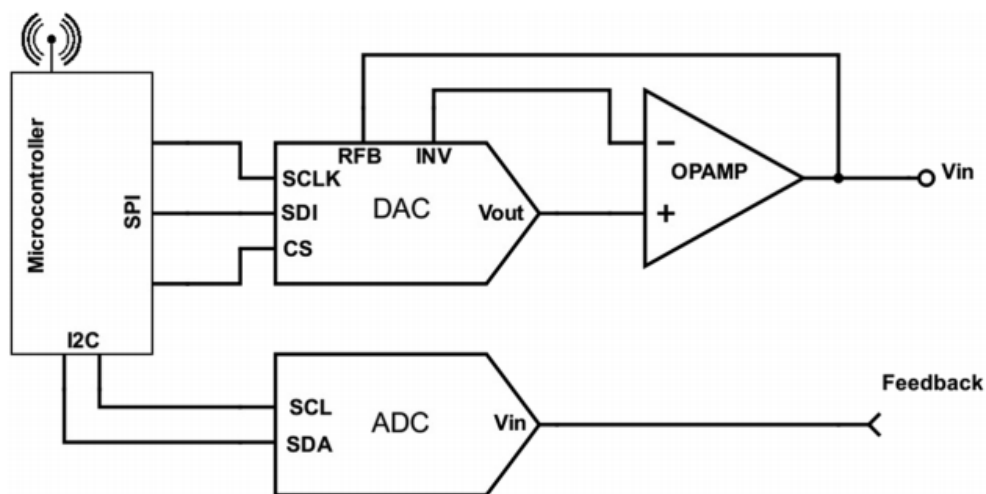


Рисунок 3 – Схематическое изображение схемы (i) управления входным напряжением для VCCC и (ii) измерения сигнала обратной связи [2]

Используется 16-битный ЦАП (DAC8831, Texas Instruments ®), который соединен с опорным напряжением 2,5 В и, следовательно, может обеспечить биполярный выход ( $\pm V_{REF}$ ), подключив его к внешнему буфера. Поскольку используется биполярный АЦП, старший значащий бит (MSB) действует как бит знака, в то время как остальная часть полученного слова определяет сигнал:

$$\text{Разрешающая способность} = \frac{V_{ref}}{2^{n-1}} \quad (1)$$

Сигнал обратной связи также подключается к АЦП (ADS1112, TX Instruments) с таким же количеством бит. Датчик времени (RTC) -

интегральная схема (IC) (BQ32000, Texas Instruments), подключенная к микроконтроллеру для отслеживания текущего процесса в реальном времени

BeagleBone Black Wireless<sup>®</sup> (BBB) используется в качестве микроконтроллера, поскольку добавление беспроводного модуля позволяет получить онлайн-доступ к схеме, удаленно устанавливать параметры гальваники и, что более важно, контролировать значения выходного напряжения, которые используются для наблюдения за сопротивлением подключенной нагрузки.

Третий модуль (VCCC) является наиболее важной частью схемы, поскольку он определяет ее характеристики. Основной особенностью VCCC является номинальное значение и стабильность выходного импеданса при изменении выходной частоты или импеданса подключенной нагрузки.

Модифицированный источник тока Хауланда (MHCS) обычно используется в тех случаях, когда требуется высокая стабильность регулируемого тока в широком диапазоне частот (рисунок 4). MHCS может подавать или отводить высокоточное количество биполярного тока, обеспечивая высокий выходной импеданс в широком диапазоне частот.

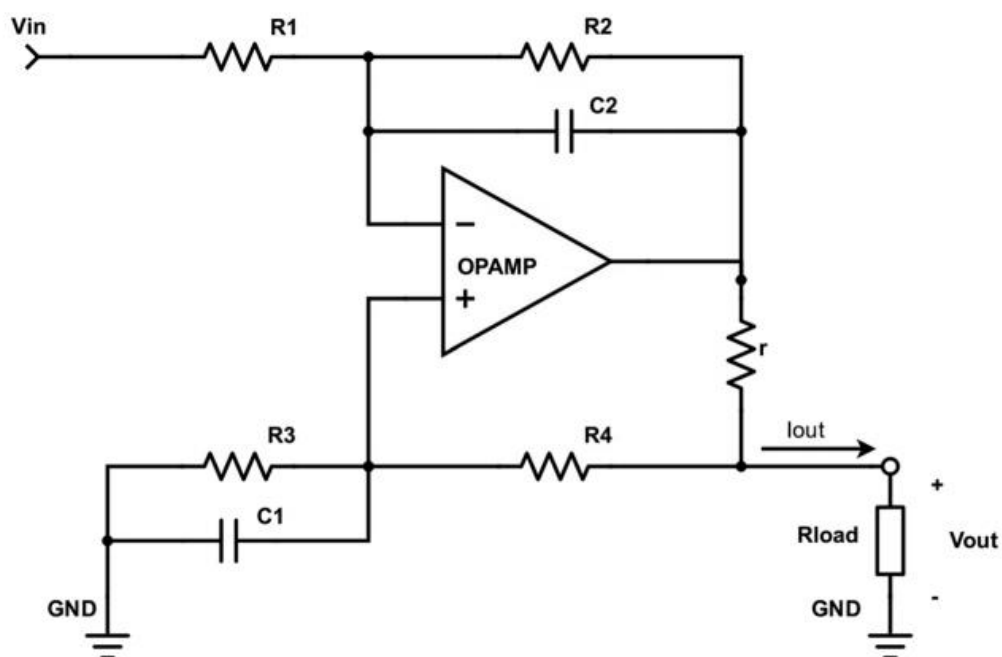


Рисунок 4 – Схема модифицированного источника тока Хауланда (MHCS) [2]

Модифицированный источник тока Хауленда был выбран за простоту, стабильность, соответствие напряжению и надежную работу в различных условиях. Схема должна быть симметричной для повышения устойчивости. Выбирая  $R1 = R3$  и  $R2 = R4 + r$  так, чтобы  $R1 / R2$  равнялось  $R3 / (R4 + r)$ , мы можем достичь цели, чтобы общий выходной ток в формуле не зависел от выходного напряжения:

$$I_{out} = -V \frac{R_2}{R_1 r} \quad (2)$$

Усиление устанавливают с помощью  $r$  и масштабируют с помощью  $R1 / R2$ . Значение  $r$  обычно невелико в диапазоне от нескольких до сотен Ом, а остальные сопротивления находятся в диапазоне от килоом до мегаом.

Как правило, в МНКС можно использовать любой операционный усилитель (ОРАМР). В том случае, если необходим широкий диапазон выходных напряжений, следует использовать ОРАМР с диапазоном напряжения питания  $\pm 15$  В. КМОП-усилители низкого напряжения могут использоваться в случае низкого выходного напряжения.

Конденсатор  $C2$  обратной связи, параллельный сопротивлению  $R2$  обратной связи, нужен, чтобы обеспечить единственный доминирующий полюс в контуре отрицательной обратной связи, чтобы предотвратить устойчивые колебания за счет сужения полосы пропускания и, следовательно, удаления высокочастотного шума. Добавление конденсатора создает фильтр нижних частот с частотой среза, рассчитанной по формуле:

$$f_{среза} = \frac{1}{2\pi C_2 R_2} \quad (3)$$

Всегда предпочтительнее выбирать конденсатор емкостью несколько нанофард, чтобы уменьшить полосу пропускания и тем самым повысить стабильность выхода, но также он замедляет выход. Когда необходима более широкая полоса пропускания, вместо нее можно использовать конденсаторы емкостью до нескольких пикофард,

Между положительным входом ОРАМР и землей использовали конденсатор, чтобы гарантировать, что положительная обратная связь всегда меньше отрицательной, чтобы обеспечить стабильность в условиях открытого выхода. Для устранения паразитной емкости можно добавить преобразователь обобщенного импеданса, но он влияет на стабильность на высоких частотах.

Таким образом, модифицированная схема тока Хауленда состоит в основном из двух пассивных компонентов (набор сопротивлений и конденсаторов) и одного активного компонента (операционный усилитель). Чтобы получить МНКС с высокими характеристиками: стабильным выходным током, высоким выходным сопротивлением и широкой полосой пропускания, эти компоненты должны быть тщательно выбраны. Основными факторами, влияющими на работу схемы, являются допуск на значения сопротивления и степень неидеальности ОРАМР.

В статье [3] представлен способ реализации источника тока с «внешними» источниками опорного сигнала. Такой подход позволяет отделить стабильность источника тока от шумовых характеристик основной цепи питания. Полученный источник тока обладает стабильностью порядка  $10^8$ .

В простейшей форме источник тока представляет собой источник постоянного напряжения на прецизионном резисторе. Следовательно, стабильность источника тока в конечном итоге зависит от стабильности источника напряжения и используемого резистора.

В большинстве коммерческих источников питания и электросчетчиках используются полупроводниковые интегральные схемы источника опорного напряжения. В их основе лежат разнообразные технологии. Одной из наиболее впечатляющих эталонных интегральных схем является LTZ1000, основанная на конструкции прецизионного стабилитрона со скрытым слоем. Превосходные тепловые характеристики



обусловлены противоположной полярностью тепловых коэффициентов стабилитрона и напряжения база-эмиттер соседнего транзистора.

Идеальный стабильный резистор должен иметь небольшой коэффициент чувствительности к окружающей среде (например, вибрации, температуре, влажности и давлению) и эффект медленного старения (скорость дрейфа). Кроме того, его характеристики не должны зависеть от условий нагрузки. Последние достижения в тонкопленочной технологии позволяют изготавливать стабильные резисторы на основе сплава Evanohm с современными характеристиками с отклонением  $\leq 0,1$  (мкОм / Ом) / год и тепловым коэффициентом  $\leq 0,14$  (мкОм / Ом) / К

Простой способ создания источника тока с использованием стабильного опорного напряжения – интегрировать существующую систему, которая уже использует цепь опорного напряжения и объединить его с устойчивым резистором и источником питания, чтобы сформировать источник тока. В этой внешней опорной схеме, можно разделить характеристики шума в режимах высоких и низких частот, делая существующую конструкцию источника более гибкой.

В статье представлен источник тока, образованный соединением опорного напряжения LTZ1000 в 8,5-разрядном мультиметре и Evanohm тонкопленочного резистора (рисунок 5).

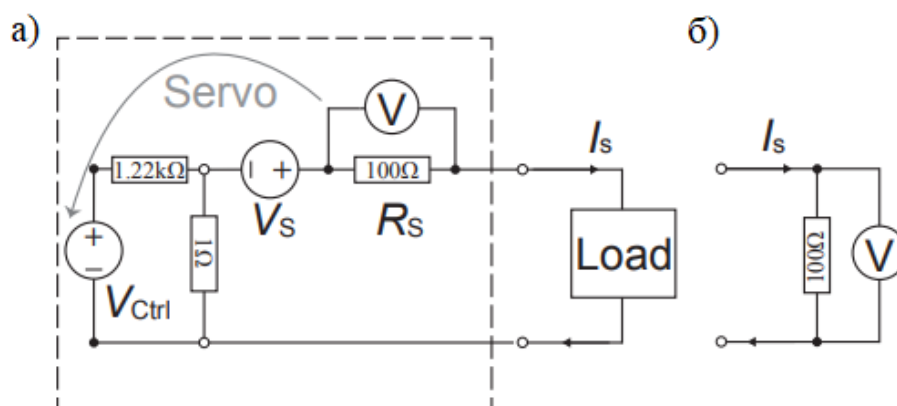


Рисунок 5 – Схема источника тока и возможная схема измерения тока: (а) Основная цепь с функцией компенсации напряжения для стабилизации тока.

Обратная связь представлена серой линией. (б) Измерение тока на основе внешнего резистора 100 Ом и вольтметра [3]

Источник питания  $V_s$  обеспечивает смещение для серворезистора  $R_s$  и резистивной нагрузки. Ток  $I_s$ , протекающий по цепи, зависит от временного изменения выходного напряжения  $V_s$ , сопротивления  $R_s$  и сопротивления нагрузки. Поскольку все три источника нестабильности подключены последовательно, временные колебания в источнике питания и изменение сопротивления нагрузки можно компенсировать путем реализации контура пропорционального интеграла отрицательного усиления (PI), который стабилизирует падение напряжения на серворезисторе  $R_s$ . В этой схеме компенсации напряжения стабильность источника тока зависит только от относительной стабильности между серворезистором и соответствующим прибором измерения напряжения.

Ключом к надлежащей проверке стабильности является наличие схемы измерения тока с такой же стабильностью (когда технологический предел источника тока уже достигнут) или лучше, чем стабильность источника тока. Одна из возможных реализаций измерителя тока показана на рис. 1 (б).

Инструменты измерения напряжения для этого эксперимента: 8,5-разрядные мультиметры (Keysight 3458A) с встроенными источниками опорного напряжения LTZ1000. И серво, и нагрузочные резисторы были резисторами 100 Ом тонкопленочного типа Evanohm (Alpha HRU100). Источником питания служил самодельный источник напряжения 10 В.

Факторы, влияющие на выходной диапазон этого источника тока, включают возможности источника питания, диапазон измерения мультиметра и номинальную мощность серворезистора. Когда источник питания был установлен на максимальный уровень 10 В, источник тока выдает 50 мА на выходе при нагрузке 100 Ом.

Наилучшая относительная стабильность тока составила  $\leq 3 \times 10^{-8}$  при времени интегрирования 100 с. Для времени интегрирования более 100 с стабильность тока определялась минимальным уровнем шума  $1/f$  вольтметра. Эта стабильность устанавливает верхний предел относительной стабильности между эталонами напряжения в цифровых мультиметрах и резисторах (включая резисторы сервопривода и нагрузки).

Предполагая равные вклады шума от сервопривода и нагрузочной части схемы, внутренняя стабильность источника тока была определена как  $\leq 2,2 \times 10^{-8}$ . Улучшение стабильности за пределами этого уровня может исходить только от повышения напряжения опорного стабильности и лучшего контроля температуры (следовательно, более высокую стабильность резистора). Источники тока, основанные на первичных стандартах электрического напряжения и сопротивления, являются перспективными.

В статье [4] описывается модульный источник тока (рисунок 6), построенный из восьми блоков, с грубой аппаратной настройкой рабочего диапазона и тонкой программной настройкой рабочей точки. Для всего источника тока требуется один источник постоянного напряжения постоянного тока, но согласованные напряжения на выходах линейного каскада динамически регулируются в зависимости от характеристик нагрузки. Выходная мощность источника питания должна на несколько вольт (минимум 3 В) превышать максимальное падение напряжения в нагрузках.

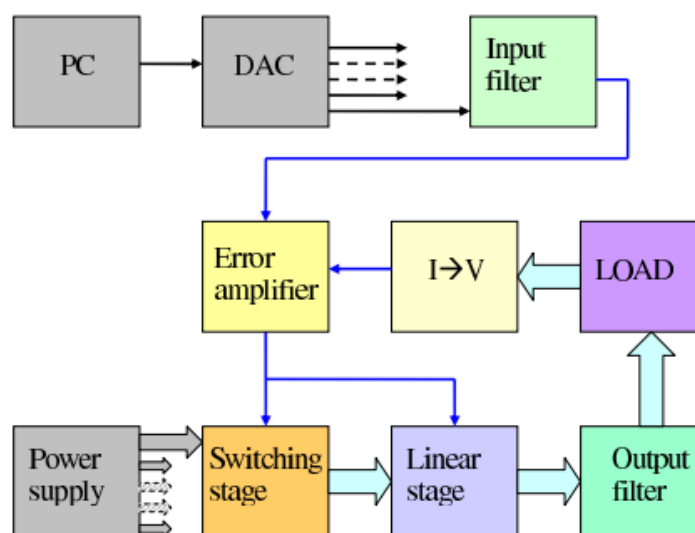


Рисунок 6 – Блок-схема модульного комплекта (в цвете часть единого блока) [4]

Опорное напряжение генерируется цифро-аналоговым преобразователем, фильтруется и отправляется на неинвертирующий вход операционного усилителя низкого смещения, относящийся к петле обратной связи. Инвертирующий вход настроен на напряжение, пропорциональное фактическому току нагрузки. Сигнал ошибки, состоящий из разницы между фактическими и установленными токами нагрузки, усиливается и поступает в усилитель мощности. Усилитель мощности с очень низким выходным сопротивлением состоит из двух биполярных транзисторов, выход которых подается на нагрузку. Усиленный сигнал ошибки также отправляется на переключающий каскад в цепи прямой связи, чтобы его выходное напряжение соответствовало линейному каскаду.

Таким образом, стабилизацию в схеме обеспечивает цепь обратной связи.

В патенте №RU181942U1 [5] описана модель источника тока (рисунок 7). Температурная стабильность вырабатываемого источником тока зависит от конструктивных параметров элементов. Данные параметры определяют отношения сопротивлений резисторов, размеры МДП-транзисторов одинаковых типов проводимости и площади диодов, при этом они не зависят

от воздействий дестабилизирующих производственных и эксплуатационных факторов.

Стабильность вырабатываемого тока обеспечивает резистор 4 и истоки с МДП-транзисторов 5-9 первого типа, подключенные к первой шине напряжения питания  $+U_{п}$ . Выходной ток  $I$  устройства обладает температурной стабильностью при оптимизированном отношении сопротивлений первого и второго резисторов 3 и 4 для определенных соотношений площадей p-n переходов первого и второго диодов 1 и 2, крутизн МДП-транзисторов 5 и 6 первого типа проводимости, а также значений ряда физических параметров: ширины запрещенной зоны полупроводникового материала, температурных коэффициентов сопротивлений резисторов, опорных точек вольтамперных характеристик полупроводниковых диодов.

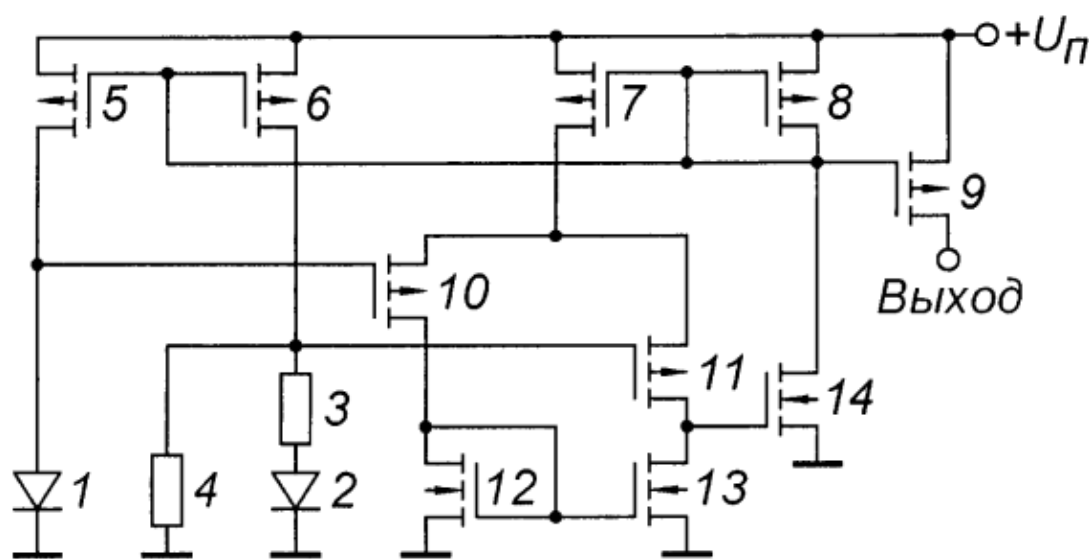


Рисунок 7 – Схема источника тока, стабилизированный в широком диапазоне напряжения питания [5]

В книге Л. Харрисона «Источники опорного напряжения и тока» [6] приведены схемы прецизионных стабилизаторов тока на ОУ (рисунок 8). Отличительная черта стабилизаторов тока – более высокие уровни выходных токов (до нескольких ампер), меньший уровень точности.

На рисунке 8 представлен пример стабилизатора втекающего тока, построенного с использованием n-канального быстродействующего «интеллектуального» МОП-транзистора (типа SmartFET). Схема работает от источника питания напряжением +12 В и стабилизирует ток нагрузки на уровне 1,6 А, обеспечивая малое значение его дрейфа. ОУ используется в качестве буфера, «развязывающего» выход ИС ИОН и резистивный делитель от затвора МОП-транзистора. Благодаря этому достигается хорошая стабильность при протекании больших токов нагрузки. Опорный уровень ( $V_{set}$ ) на неинвертирующем входе ОУ задается путем деления выходного напряжения ИОН с помощью многооборотного подстроечного резистора. Благодаря этому на токозадающем резисторе  $R_s$  задано напряжение  $V_{set}$ . Таким образом, напряжение ИОН преобразуется в постоянный ток, не зависящий от напряжения на нагрузке.

В схеме ОУ должен быть прецизионного типа, например, OP27E производства Analog Devices, диапазон синфазных напряжений которого начинается от 0 В.

В качестве токоизмерительного резистора  $R_s$  в цепи стока полевого транзистора используется прецизионный низкоомный мощный резистор (Caddock MV311) с достаточно малым ТКС.

Значение выходного тока равняется отношению падения напряжения на резисторе, к его омическому сопротивлению (произведение выходного тока  $I_{out}$  и сопротивления токоизмерительного резистора  $R_s$  поддерживается равным напряжению  $V_{set}$ ).

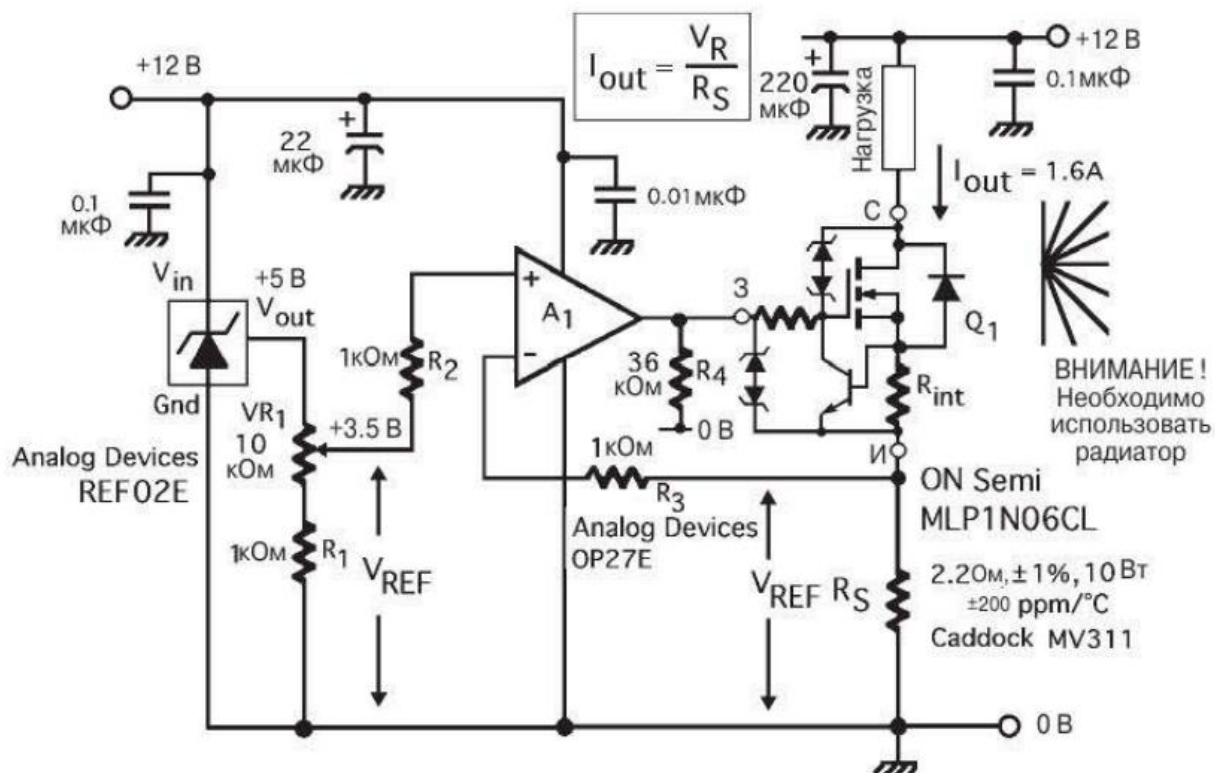


Рисунок 8 – Прецизионный источник втекающего тока 1,6 А на основе мощного «интеллектуального» быстродействующего МОП-транзистора со встроенной схемой ограничения тока [6]

Таким образом, на основе ОУ можно легко создать слаботочный источник тока, а использование биполярных или МОП-транзисторов позволит значительно увеличить выходной ток.

При проектировании источников тока обычно используются прецизионные ОУ. При реализации источников тока нужно учитывать такие параметры ОУ, как:

- большой коэффициент усиления с разомкнутой петлей ОС ( $A_o$ ): более 104 дБ (чем больше, тем лучше);
- большой коэффициент ослабления синфазного сигнала (CMRR): свыше 100 дБ (чем больше, тем лучше);
- большой коэффициент подавления пульсаций питания (PSRR): свыше 104 дБ (чем больше, тем лучше);

- очень малое напряжение смещения ( $V_{os}$ ): обычно менее 100 мкВ (чем меньше, тем лучше);
- очень малый дрейф напряжения смещения ( $TC V_{os}$  в мкВ/°C): менее 5 мкВ/°C (чем меньше, тем лучше);
- очень малый входной ток смещения ( $I_{bias}$ ): желательно, чтобы он был менее 50 нА;
- очень малый дрейф тока смещения ( $TC I_{os}$  в нА/°C): менее 10 пА/°C (чем меньше, тем лучше);
- малый шум ( $e_n$ ): обычно менее 10 нВ/Гц<sup>1/2</sup> (чем меньше, тем лучше);
- достаточно низкий собственный потребляемый ток ( $I_s$ ): в зависимости от применения.

При работе с ОУ нужно стабилизировать их напряжения питания, для этого необходимо, чтобы стабилизатор напряжения был расположен как можно ближе к ОУ. В некоторых случаях лучше разместить на печатной плате с установленными на ней ОУ и стабилизатором параллельно включенные блокировочный электролитический конденсатор емкостью 22 мкФ и керамический конденсатор емкостью 0,1 мкФ. У каждого вывода питания каждого ОУ должен быть установлен блокировочный керамический конденсатор емкостью 0,01 мкФ.

В высокоимпедансных схемах с очень малыми токами смещения часто требуется располагать вокруг входов ОУ защитные кольца, использовать дистанционные изоляторы Teflon и производить все соединения как можно более короткими проводниками.



## 2 Кольца Гельмгольца

### 2.1 Расчет колец Гельмгольца

Кольцами Гельмгольца (рисунок 9а) называется система из двух одинаковых тонких катушек, расположенных соосно на расстоянии, равном их радиусу. В пространстве между катушками получается поле высокой однородности [7].

Их используют для имитации магнитного поля, соорудив клетку Гельмгольца (рисунок 9б)



а



б

Рисунок 9 – Катушка Гельмгольца (а), клетка Гельмгольца (б) [8, 9]

В данной работе была спроектирована клетка Гельмгольца со следующими параметрами:

- радиус первой катушки  $R_1$  0,15 м;
- радиус второй катушки  $R_2$  0,18 м;
- радиус третьей катушки  $R_3$  0,21 м;
- магнитной индукцией  $B$  50 мкТл;
- ток, протекающий по виткам катушек колец,  $I$  0,2 А.

Количество витков для каждой катушки было рассчитано из формулы магнитной индукции в геометрическом центре:

$$N = \frac{5\sqrt{5}}{8} \cdot \frac{R \cdot B}{\mu_0 \cdot I}, \quad (4)$$

где  $R$  – радиус катушки;

$$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м.}$$

Для первой катушки количество витков равно 33, для второй – 39, для третьей – 45. Сопротивление системы из двух колец рассчитывается по формуле:

$$r = \frac{2\pi R}{S} \rho N, \quad (5)$$

где  $r$  – сопротивление обмотки;

$S$  – площадь поперечного сечения проводящей жилы обмоточного провода;

$$\rho = 0,0178 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} \text{ – удельное сопротивление меди.}$$

Формула площади поперечного сечения проводящей жилы обмоточного провода:

$$S = \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2, \quad (6)$$

где  $d = 0,45$  мм – диаметр обмоточного провода.

Площадь поперечного сечения проводящей жилы обмоточного провода равна  $0,16 \text{ мм}^2$ .

Сопротивление для первой катушки  $4,2$  Ом, для второй –  $3,5$  Ом, для третьей –  $3$  Ом. Суммарное сопротивление нагрузки  $10,7$  Ом.

Таким образом, сопротивление нагрузки для источника тока равно  $10,7$  Ом.

## 2.2 Создание катушек Гельмгольца

Параметры для расчета магнитной индукции и построения графика неоднородности представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Значение
Максимальная индукция магнитного поля, мкТл	50
Ток, протекающий по виткам катушек колец, А	0,2
Радиус первой катушки, м $R_1$	0,15 м
Радиус второй катушки, м $R_2$	0,18 м
Радиус третьей катушки, м $R_3$	0,21 м

Количество витков для каждой катушки было рассчитано из формулы магнитной индукции в геометрическом центре:

$$N = \frac{5\sqrt{5}}{8} \cdot \frac{R \cdot B_0}{\mu_0 \cdot I} \quad (7)$$

Суммарный модуль магнитного поля рассчитывается по формуле [7]:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot R^2}{2 \cdot (R^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (8)$$

где  $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м;

$I$  – ток, протекающий по виткам катушек, в амперах;

$R$  – радиус катушки, в метрах;

$N$  – число витков катушки;

$z$  – расстояние по оси катушек, в метрах.

Магнитное поле, создаваемое кольцами Гельмгольца, в каждой точке оси  $z$  вычисляется по формуле:

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot N \cdot I \cdot R^2 \quad (9)$$

Для системы, состоящей из двух колец Гельмгольца, формула магнитной индукции в геометрическом центре имеет вид:

$$B_0 = \frac{8}{5\sqrt{5}} \cdot \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{R}, \quad (10)$$

Неоднородность магнитного поля вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{B - B_0}{B_0} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Расчеты для трех катушек были проведены в ПО MathCad. Количество витков для первой катушки равно 42, для второй – 50, для третьей – 58.

Из графиков, представленных на рисунках 10-12, видно, что неоднородность во всех случаях меньше 5% при  $z/R \approx 30\%$ , то есть в клетке, состоящей из катушек с выбранными радиусами (15 см, 18 см, 21 см), кубсат будет в поле с неоднородностью меньше 5%.

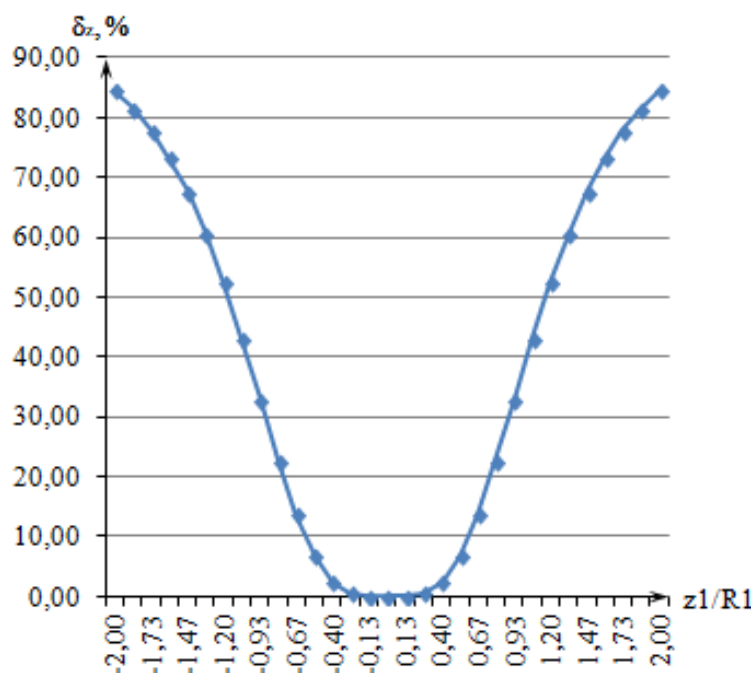


Рисунок 10 – График неоднородности магнитного поля вдоль оси z для катушки с радиусом 15 см

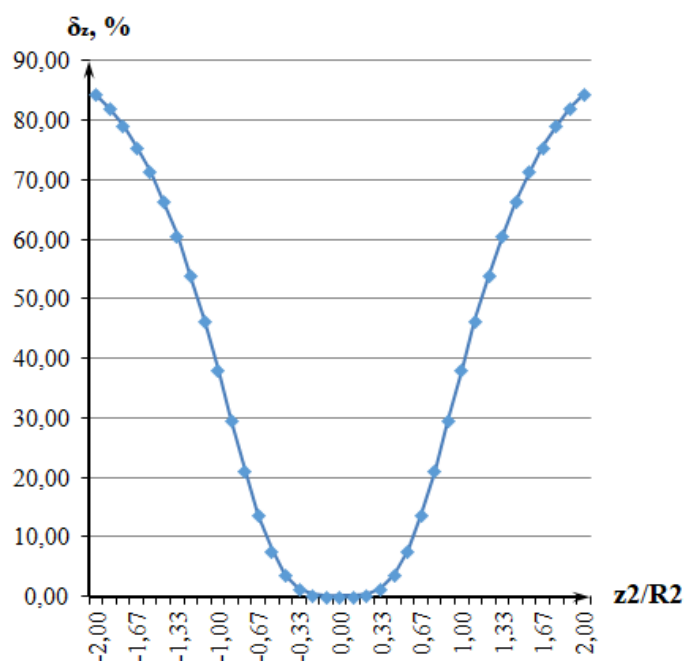


Рисунок 11 – График неоднородности магнитного поля вдоль оси z для катушки с радиусом 18 см

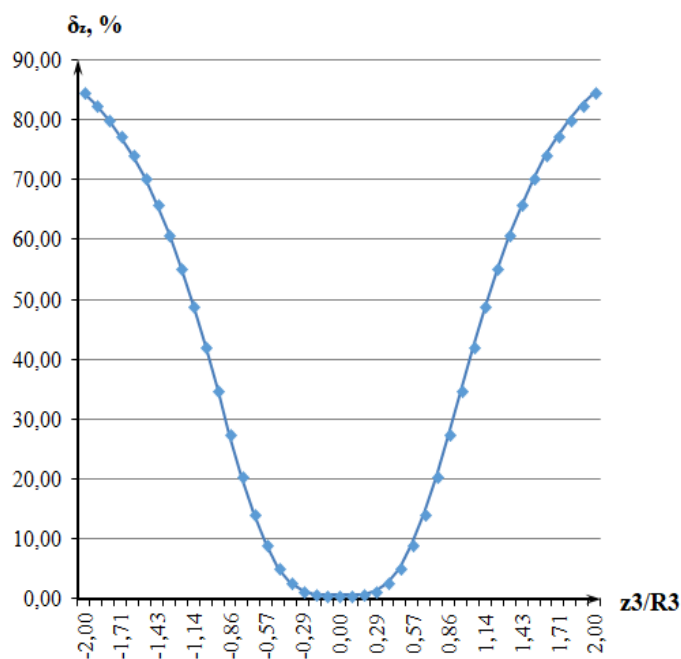


Рисунок 12 – График неоднородности магнитного поля вдоль оси z для катушки с радиусом 21 см

Материалы, используемые при создании катушек Гельмгольца должны соответствовать следующим условиям:

- они должны быть немагнитными, чтобы не исказить поле;
- прочными, чтобы выдержать катушки;
- простыми в обработке;
- дешевыми и доступными.

Этим требованиям лучше всего удовлетворяют пластмассы. Каркас должен быть выполнен в виде обруча (тора) внутренним радиусом, равным радиусу катушек.

При помощи хомутов катушки крепятся к стержням. Стержни крепятся к основанию при помощи уголков. Таким образом, при необходимости катушку можно будет разобрать.

На рисунке 13 представлена клетка Гельмгольца, спроектированная в ПО T-FLEX CAD.

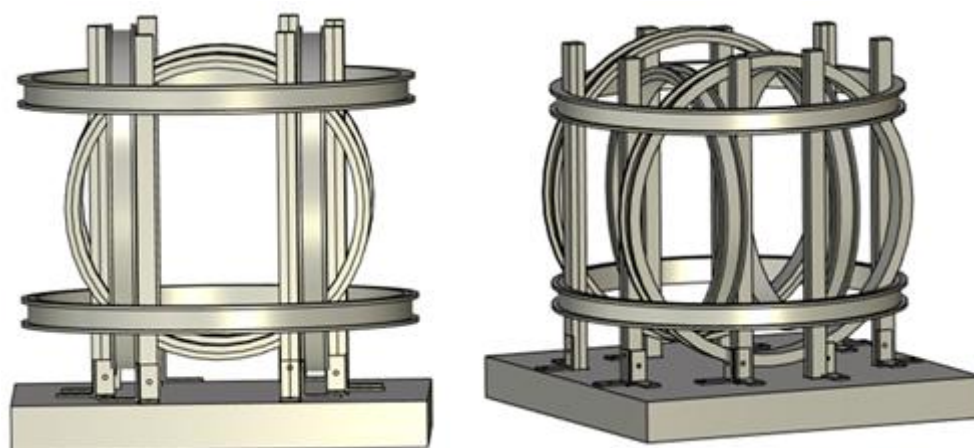


Рисунок 13 – 3D модель клетки Гельмгольца

На 3D-принтере была распечатана оснастка для катушек Гельмгольца (рисунок 14). В будущем планируется собрать клетку Гельмгольца.



Рисунок 14 – Оснастка для катушек Гельмгольца

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

### **4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Источники питания постоянного тока широко востребованы среди измерительных приборов различных видов и применяются для создания и преобразования различных видов энергии или измерения ее характеристик. Источники питания являются неотъемлемой частью конструкции любого устройства, основанного на принципах радиотехники и электроники.

Темой выпускной квалификационной работы является источник регулируемого тока для катушек Гельмгольца. Данное устройство предназначено для того, чтобы задавать значение магнитного поля в системе катушек Гельмгольца.

#### **4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Источник регулируемого тока используется для питания катушек Гельмгольца, которые, в свою очередь, можно использовать для создания магнитного поля. Российские предприятия будут целевым рынком для результатов исследования, так как в России электронная промышленность развита слабо, поэтому можно найти свою нишу.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).



Было выбрано два критерия для сегментирования рынка: применение источника тока, размер компании-заказчика. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

Сегментация рынка производства источников питания по критериям показана в таблице 2.

Таблица 2 – Сегментация рынка производства источников питания

		Применение источника тока	
		Тестирование систем стабилизации и ориентации наноспутников	Создание постоянных магнитов
Размер предприятия	Крупное		
	Среднее		
	Мелкие	+++++++++	////////////////

+++++++++ – ООО «Спутникс»

//////////////// – ООО «Магнитные Системы», ООО "НПК "МАГНИТЫ И СИСТЕМЫ"

Как видно из таблицы 2, есть предприятия, которым могут быть заинтересованы в разрабатываемом источнике тока. Потенциальные потребители – мелкие предприятия.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (таблица 3).

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (19)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Для этого были выбраны такие источники тока, как SpikeSafe 500mA DC Current Source и DC Voltage Current Source Monitor 6253.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		$B_{\phi}$	$B_{k1}$	$B_{k2}$	$K_{\phi}$	$K_{k1}$	$K_{k2}$
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
2. Помехоустойчивость	0,07	4	4	4	0,28	0,28	0,28
3. Энергоэкономичность	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
4. Надежность	0,03	4	4	4	0,12	0,12	0,12
5. Безопасность	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
6. Простота эксплуатации	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
7. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
8. Стабильность	0,15	5	4	5	0,75	0,6	0,75
9. Точность	0,13	4	5	4	0,52	0,65	0,52
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,04	4	5	4	0,16	0,2	0,16
2. Уровень проникновения на рынок	0,04	3	5	4	0,12	0,2	0,16
3. Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
5. Послепродажное обслуживание	0,02	4	4	3	0,08	0,08	0,06

Продолжение таблицы 3

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
6. Финансирование научной разработки	0,04	3	4	4	0,12	0,16	0,16
7. Срок выхода на рынок	0,02	2	4	4	0,04	0,08	0,08
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,19</b>	<b>4,16</b>	<b>3,98</b>

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной работы;

Б<sub>к1</sub> – ADC Corporation (DC Voltage Current Source Monitor 6253);

Б<sub>к2</sub> – Vektrex Electronic Systems, Inc (SpikeSafe 500mA DC Current Source).

По результатам проведенного анализа видно, что разрабатываемый источник тока не уступает имеющимся на рынке. Собственные преимущества заключаются в простоте конструкции, удобном интерфейсе и цене. Преимущества конкурентов заключаются в большей конкурентоспособности, более глубоком проникновении на рынок и лучшем финансировании проекта.

#### 4.1.3 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен 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. Он проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Первый этап SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  С1. Функциональные особенности;                  С2. Удобство в эксплуатации;                  С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями;                  С4. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>                  Сл1. Отсутствие удаленного доступа;                  Сл2. Большое количество конкурентов;                  Сл3. Большой срок поставок комплектующих, используемые при проведении научного исследования.</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1: Небольшая конкуренция внутри страны;                  В2: Повышение стоимости конкурентных разработок;                  В3: Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>		
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Развитая конкуренция технологий производства;                  У2. Нехватка финансирования.</p>		

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 5-8.

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

		Сильные стороны			
		С1	С2	С3	С4
Возможности проекта	В1	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	+	+	+	+

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

		Слабые стороны		
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	-	-	-
	В2	-	-	-
	В3	-	0	0

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

		Сильные стороны			
		С1	С2	С3	С4
Угрозы	У1	-	-	-	-
	У2	0	0	-	-

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

		Слабые стороны		
		Сл1	Сл2	Сл3
Угрозы	У1	+	0	+
	У2	-	0	-

Таким образом, в рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 9).

Таблица 9 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Функциональные особенности;  С2. Удобство в эксплуатации;  С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями;  С4. Квалифицированный персонал.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Отсутствие удаленного доступа;  Сл2. Большое количество конкурентов;  Сл3. Большой срок поставок комплектующих, используемые при проведении научного исследования.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1: Небольшая конкуренция внутри страны;  В2: Повышение стоимости конкурентных разработок;  В3: Появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>Функциональные особенности, удобство в эксплуатации и более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями увеличат конкурентоспособность, благодаря небольшой конкуренции и спросу на продукт легко будет занять свою нишу на рынке.</p>	<p>Добавление возможности удаленного доступа повысит конкурентоспособность продукта. Учитывая большую конкуренцию в мире лучше ориентироваться на внутренний рынок и найти поставщиков внутри страны, чтобы снизить срок поставок комплектующих.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Развитая конкуренция технологий производства;  У2. Нехватка финансирования.</p>	<p>Функциональные особенности, удобство в эксплуатации и более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями вполне способны ослабить влияние перечисленных угроз.</p>	<p>В связи с развитием конкуренции технологий, нехваткой финансирования, есть большой риск потери занятой ниши рынка.</p>

Таким образом, сильные стороны проекта позволяют ускорить выход на отечественный рынок, а также увеличить спрос на данный продукт. Однако, разрабатываемое устройство уязвимо перед конкуренцией с зарубежными производителями и низким уровнем финансирования.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

При планировании научно-исследовательской работы необходимо определить структуры работ в рамках научного исследования, участников каждой работы, установить продолжительность работ, а также построить график проведения научных исследований. Рабочая группа, участвующая в выполнении научных исследований, состоит из студента, консультанта, научного руководителя, консультанта по части социальной ответственности (СО) и консультанта по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы.

В таблице 10 представлены основные этапы работ, их содержание и исполнители.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
Выбор направления исследований	2	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	студент
	4	Патентный обзор литературы	студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Построение электрической схемы	Консультант, студент
	7	Моделирование работы устройства	Студент
	8	Подбор компонентов	Консультант, студент
	9	Написание программного кода устройства	Студент
	10	Моделирование корпуса устройства	Студент
	11	Построение макетов и проведение экспериментов	Консультант, студент

Продолжение таблицы 10

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Обобщение и оценка результатов	12	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент
	13	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент
Проведение ВКР			
Оформление комплекта документации по ВКР	14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

#### 4.2.2 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  $t_{ожi}$  используется следующая формула (19):

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (20)$$

где  $t_{ожi}$  – 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:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (21)$$

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

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн;

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

#### 4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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:

$$T_{ки} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (22)$$

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

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

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (23)$$

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

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

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

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (24)$$

Все рассчитанные значения приведены в таблице, в приложении Г. На основе таблицы строится календарный план-график (приложение Д). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

#### **4.2.4 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:

- а) материальные затраты НТИ;
- б) затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- в) основная заработная плата исполнителей темы;
- г) дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- д) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- е) затраты на научные и производственные командировки;
- ж) контрагентные расходы;
- з) накладные расходы.

##### **4.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (25)$$

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

$N_{расхi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента  $k_T$ , отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Материальные затраты

Наименование	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ( $Z_m$ ), руб.
ЦАП MCP4725	1	700	700
Плата Arduino Nano 3.0	1	810	810
Операционный усилитель AD8675	1	420	420
Источник опорного напряжения REF195ESZ	1	350	350
Конденсатор GRM219R61E106KA12J	1	5	5
Конденсатор TAJB105K035RNJ	1	11	11
Конденсатор TAJB225K016RNJ	1	16	16
Конденсатор GRM21BR71H104K	3	7	21

Продолжение таблицы 11

Наименование	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб.
Конденсатор CGA4J1X8L1H334K125 АС	1	75	75
Транзистор 2N2222А	1	6	6
Стабилизатор LM7815АСТ	1	30	30
Стабилизатор LM7915АСТ	1	98	98
Резистор AC03000007509JACCS	1	130	130
Резистор CRCW251224R0JNEG	1	63	63
Разъем	1	16	16
Разъем	2	15	30
Аккумулятор	1	410	410
Печатная плата	1	230	230
Припой	1	180	180
Флюс	1	107	107
<b>Итого:</b>			<b>3708</b>

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

В данную статью включаются все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ. Т.к. новое оборудование не закупалось, в виду того, что все необходимое уже имеется в наличии, необходимо произвести расчет амортизации основных производственных фондов.

Для расчета амортизации необходимо использовать формулу расчета линейного метода начисления амортизации основных средств (ОС), которая имеет следующий вид:

$$A = \frac{\text{Стоимость ОС} \cdot \text{Норма амортизации}}{100\%} \quad (26)$$

Расчет затрат по данной статье представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Основные производственные фонды

№ п/п	Наименование оборудования	Стоимость оборудования, руб.	Норма амортизации, %	Срок службы оборудования, год	Амортизация ежемесячная, руб/мес.
1.	Блок питания	50000	10	10	417
2.	Осциллограф	65000	10	10	542
3.	Компьютер	35000	33,3	3	963
4.	Паяльная станция	10000	6,67	15	56
Итого					1 978
Итого за период исследования (Исп.1)					16 549,27
Итого за период исследования (Исп.2)					15 758,07

#### 4.2.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включается основная заработная плата участников рабочей группы. 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. Заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, включает основную заработную плату и дополнительную:

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (27)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (28)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (29)$$

где  $Z_m$  – 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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн (таблица 13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Консультант	Студент
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней	104	104	104
- выходные дни	14	14	14
- праздничные дни			
Потери рабочего времени	48	48	48
- отпуск	5	5	5
- невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	194	194	194

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (30)$$

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;

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

Тарифная заработная плата  $Z_{тс}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $T_{ci} = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_T$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная

плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнитель	Разряд	$Z_{мс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб.дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	К.т.н.	12070	0,3	0,3	1,3	25105,6	1346,8 7	29,5	39 732,67
Консультант	ассистент	12070	0,3	0,3	1,3	25105,6	1346,8 7	25,1	33 806,44
Студент	-	8600	0,3	0,3	1,3	17888	958,94	192,9	184 979,53
Исп.1 Итого $Z_{осн}$									<b>258 518,64</b>
Научный руководитель	К.т.н.	12070	0,3	0,3	1,3	25105,6	1346,8 7	24,1	32 459,57
Консультант	ассистент	12070	0,3	0,3	1,3	25105,6	1346,8 7	25,1	33 806,44
Студент	-	8600	0,3	0,3	1,3	17888	958,94	163	156 307,22
Исп.2 Итого $Z_{осн}$									<b>222 573,23</b>

#### 4.2.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (31)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (принят равным 0,12).

Общая заработная плата исполнителей работы представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Общая заработная плата исполнителей

Исп.	Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб.	$Z_{зн}$ , руб.
1	Научный руководитель	39 732,67	4 767,92	44 500,59
	Консультант	33 806,44	4 056,77	37 863,21
	Студент	184 979,53	22 197,54	207 177,07
	<b>Итого</b>	<b>258 518,64</b>	<b>31 022,23</b>	<b>289 540,87</b>
2	Научный руководитель	32 459,57	3 895,15	36 354,72
	Консультант	33 806,44	4 056,77	37 863,21
	Студент	156 307,22	18 756,57	175 064,09
	<b>Итого</b>	<b>222 573,23</b>	<b>26 708,49</b>	<b>249 281,72</b>

#### 4.2.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (32)$$

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30 %. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1% .

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Исп.1		Исп.2	
	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	39 732,67	4 767,92	4 767,92	3 895,15
Консультант	33 806,44	4 056,77	4 056,77	4 056,77
Студент	184 979,53	2 2197,54	2 2197,54	18 756,57
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271			
<b>Итого:</b>	<b>78 465,58</b>		<b>67 555,35</b>	

#### 4.2.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и



телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5), \quad (33)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

При величине коэффициента накладных расходов в размере 16 %, накладные расходы составят для исп.1  $Z_{\text{накл}} = 62\,501,66$  руб., для исп.2  $Z_{\text{накл}} = 54\,187,96$  руб.

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

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	3708	3708	таблица 12
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	16 549,27	15 758,07	таблица 13
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	258 518,64	222 573,23	таблица 15
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	31 022,23	26 708,49	таблица 16
5. Отчисления во внебюджетные фонды	78 465,58	67 555,35	таблица 17

Продолжение таблицы 17

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
6. Накладные расходы	62 501,66	54 187,96	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	450765,38	390 491,1	Сумма ст. 1-6

Как видно из таблицы 17 основные затраты НТИ приходятся на основную заработную плату исполнителей.

#### 4.3 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 финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{ri}}{\Phi_{max}}, \quad (34)$$

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

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

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

Максимальная стоимость исполнения составляет 450 765,38 руб., следовательно, интегральный финансовый показатель разработки для первого и второго исполнения составляет:

$$I_{финр}^{исп.1} = \frac{450765,38}{450765,38} = 1, \quad (35)$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{390491,1}{450765,38} = 0,87. \quad (36)$$

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (37)$$

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

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

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда	0,1	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	5	5
3. Энергосбережение	0,15	4	5
4. Надежность	0,20	5	5
5. Воспроизводимость	0,25	5	5
6. Материалоемкость	0,15	5	5
ИТОГО	1		

Таким образом, показатель ресурсоэффективности равен:

$$I_{p-\text{исп.1}} = 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,85, \quad (38)$$

$$I_{p-\text{исп.2}} = 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 4,9. \quad (39)$$

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии во втором исполнении является более эффективным вариантом для проектирования с позиции ресурсосбережения.

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{исп.1}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп.1}}{I_{финр}} = \frac{4,85}{1} = 4,85, \quad (40)$$

$$I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп.2}}{I_{финр}} = \frac{4,9}{0,87} = 5,63. \quad (41)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 19) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср1} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} = \frac{4,85}{5,63} = 0,86, \quad (42)$$

$$\mathcal{E}_{ср1} = \frac{I_{исп.2}}{I_{исп.1}} = \frac{5,63}{4,85} = 1,16. \quad (43)$$

Таблица 19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,87
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,9
3	Интегральный показатель эффективности	4,85	5,63
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,86	1,16

В ходе работы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был проведен сравнительный анализ двух вариантов исполнения научно-исследовательской работы.

Бюджет первого исполнения составил 450 765,38 руб., а второго – 390 491,1 руб.

Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что эффективным вариантом исполнения является 2 вариант, в котором уменьшено количество времени для этапов разработки регулируемого источника тока.

## **5 Социальная ответственность**

Выпускная квалификационная работа направлена на разработку ультрастабильного источника тока. Темой выпускной квалификационной работы является источник регулируемого тока для катушек Гельмгольца. Данное устройство предназначено для того, чтобы задавать значение магнитного поля в системе катушек Гельмгольца. Одним из основных направлений развития и совершенствования современных источников тока является увеличение их стабильности.

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

1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства:

Согласно ТК РФ, N 197-ФЗ работник аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, имеет право на [17]:

- а) рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- б) обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- в) отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- г) обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- д) внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

## 1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Рабочее место в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Оно должно занимать площадь не менее 4,5 м<sup>2</sup>, высота помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м<sup>3</sup> на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно быть пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина – 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см. Так же рабочий стол должен быть устойчивым, иметь однотонное неметаллическое покрытие, не обладающее способностью накапливать статическое электричество. Рабочий стул должен иметь дизайн, исключая онемение тела из-за нарушения кровообращения при продолжительной работе на рабочем месте [18].

Рабочее место сотрудника аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

## **5.2 Производственная безопасность**

### **5.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов**

Разрабатываемое устройство подразумевает использование ПК и паяльной станции, с точки зрения социальной ответственности целесообразно рассмотреть вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проектировании, разработке программной части устройства и изготовлении макета, а также требования по организации рабочего места. Перечень опасных и вредных факторов представлен в таблице 20. При выборе потенциально возможных вредных и опасных факторов

использовался ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [19].

Таблица 20 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень электромагнитных полей	+	+	+	СанПиН 1.2.3685-21
2. Недостаточная освещенность рабочей зоны		+	+	СП 52.13330.2016
3. Неудовлетворительный микроклимат	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96 ГОСТ 30494-2011
4. Повышенный уровень шума на рабочем месте	+	+	+	СН 2.2.4/2.1.8.562-96
5. Повышенный уровень напряженности электростатического поля	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
6. Утечки токсичных и вредных веществ в атмосферу		+		ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ
7. Поражение электрическим током		+	+	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
8. Повышенный уровень пожароопасности		+		Федеральный закон №123 – ФЗ от 22.07.2013 г.
9. Нервно-психические перегрузки, в том числе эмоциональные перегрузки и монотонность трудового процесса	+	+	+	ГОСТ 12.0.003-2015
10. Физические перегрузки	+	+		ГОСТ 12.0.003-2015

### **5.2.2. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)**

#### Электромагнитное излучение, напряженность электростатического поля

При разработке источника регулируемого тока для катушек Гельмгольца основным источником потенциально вредных и опасных производственных факторов (ОВПФ) является возможность поражения



электрическим током. Использование ПК может привести к наличию таких вредных факторов, как повышенный уровень электромагнитных полей, электрического поля. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 допустимые уровни электромагнитных и электростатических полей в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, создаваемых ЭВМ, не должны превышать значений, представленных в таблице 21 [20].

Таблица 21 – Предельно допустимые уровни постоянного магнитного поля на рабочих местах [20]

Наименование параметра	Предельно допустимые уровни (ПДУ)	Условие
Напряженность электростатического поля	60 кВ/м	При воздействии менее 1ч.,
	20 кВ/м	При воздействии 8 ч
Напряженность электромагнитного поля	5 кВ/м	При частоте 50 Гц

Уровни ЭМП, ЭСП на рабочем месте в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, перечисленные в таблице 21 соответствуют нормам [21].

#### Электробезопасность

Для предотвращения поражения электрическим током, где размещается рабочее место с ЭВМ и паяльной станцией в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, оборудование должно быть оснащено защитным заземлением, занулением в соответствии ПУЭ.

Уровень напряжения для питания ЭВМ в данной аудитории 220 В. По опасности поражения электрическим током помещение 104, 4 корпуса ТПУ относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18-20 °, с влажностью 40-50 %) [22].

Согласно ПУЭ основными причинами электротравматизма являются прикосновение к токоведущим частям электроустановки, находящейся под напряжением, прикосновение к металлическим конструкциям электроустановок, находящихся под напряжением, ошибочное включение

электроустановки или несогласованных действий обслуживающего персонала, поражение шаговым напряжением и др [23].

Основными техническими средствами защиты являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения, изолирующие электрозащитные средства, знаки и плакаты безопасности. Наличие таких средств защиты предусмотрено в рабочей зоне. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности. Работники, выполняющие пайку паяльником, должны иметь II группу по электробезопасности. Таким образом, разработанные мероприятия обеспечивают безопасную эксплуатацию электроустановок в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ [21].

#### Освещение

В аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, имеется естественное (боковое одностороннее) и искусственное освещение. Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ЭВМ осуществляется системой общего равномерного освещения. В аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов). Согласно СанПиН 1.2.3685-21 при общем искусственном освещении освещенность должна быть 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности не более 15% [20]. В качестве источников света применяются светодиодные светильники или мателлогалогенные лампы, использующиеся в качестве местного освещения. Согласно ТИ Р М-075-2003 для рабочего места в паяльной станции необходимо местное освещение со светильниками с непросвечивающими отражателями. Светильники должны располагаться таким образом, чтобы их

светящие элементы не попадали в поле зрения работников. Устройство для крепления светильников местного освещения должно обеспечивать фиксацию светильника во всех необходимых положениях. Подводка электропроводов к светильнику должна находиться внутри устройства. Открытая проводка не допускается [23].

Согласно ГОСТ 12.2.032-78 освещение в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, соответствует допускам СОУТ ТПУ 2019 [21].

### Шум

При работе с ЭВМ в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, характер шума – широкополосный с непрерывным спектром более 1 октавы [20]. Согласно ГОСТ 12.2.032-78 уровень шума в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, не более 80 дБА, что соответствует допускам СОУТ ТПУ 2019 [21].

### Микроклимат

Для создания и автоматического поддержания в аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Аудитория 104, 4 корпуса ТПУ, является помещением I б категории. Оптимальные величины интенсивности теплового облучения работающих на рабочих местах представлены в таблицах 22 [20].

Таблица 22 – Оптимальные величины показателей микроклимата [20]

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	I б (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Теплый	I б (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

В аудитории проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ.

Микроклимат аудитории 104, 4 корпуса ТПУ соответствует оптимальным нормам [21].

#### Повышенная температура изделий

Во время работы с паяльной станцией во избежание получения травм и ожогов необходимо соблюдать «Межотраслевую типовую инструкцию по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником». Согласно данной инструкции необходимо соблюдать следующие указания [23]:

1. К выполнению работ по пайке паяльником допускаются работники в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие обучение, инструктаж и проверку знаний по охране труда и пожарной безопасности, освоившие безопасные методы и приемы выполнения работ, методы и приемы правильного обращения с приспособлениями, инструментами и грузами;

2. Работники, выполняющие пайку паяльником, должны иметь II группу по электробезопасности;

3. В случае возникновения в процессе пайки паяльником каких-либо вопросов, связанных с ее безопасным выполнением, работник должен обратиться к своему непосредственному или вышестоящему руководителю;

4. Работники, занятые пайкой паяльником, обязаны соблюдать правила внутреннего трудового распорядка организации;

5. Работники, занятые пайкой паяльником, должны обеспечиваться средствами индивидуальной защиты;

6. Работы с вредными и взрывопожароопасными веществами при нанесении припоев, флюсов, паяльных паст, связующих и растворителей должны проводиться при действующей общеобменной и местной вытяжной вентиляции. Системы местных отсосов должны включаться до начала работ и выключаться после их окончания;

7. Паяльник должен проходить проверку и испытания в сроки и объемах, установленных технической документацией на него;

8. Класс паяльника должен соответствовать категории помещения и условиям производства;

9. Кабель паяльника должен быть защищен от случайного механического повреждения и соприкосновения с горячими деталями.

В аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, в рабочей зоне с паяльной станцией присутствует местная вытяжная вентиляция, дополнительное искусственное освещение, а также приборы, позволяющие закреплять или держать элементы, предназначенные для пайки, что ограничивает возможность контакта поверхности кожи человека с нагретыми элементами конструкции печатного узла.

#### Вредные вещества

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции, для контроля над качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих [24].

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения предельно допустимых концентраций - максимально разовых рабочей зоны (ПДК<sub>мр.рз</sub>) и среднесменных рабочей зоны (ПДК<sub>сс.рз</sub>). Величины ПДК<sub>мр.рз</sub> и ПДК<sub>сс.рз</sub> приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны [24]

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
1. Азота диоксид	2	п	III	О
2. Азота оксиды (в пересчете на NO <sub>2</sub> )	5	п	III	О

Продолжение таблицы 23

Наименование вещества	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
3. Алюминий и его сплавы (в пересчете на алюминий)	2	а	III	Ф
4. Ацетон	200	п	IV	
5. Керосин (в пересчете на С)	300	п	IV	
6. Медь	1/0,5	а	II	
7. Меди соли (хлорная, хлористая, сернокислая) по меди	0,5	а	II	
8. Полиэтилен	10	а	IV	
9. Свинец и его неорганические соединения (по свинцу)	0,01/0,005	а	I	
10. Спирт этиловый	1000	п	IV	
11. Углерода оксид	20	п	IV	О
12. Этилацетат	200	п	IV	

Примечания:

1. Если в графе «Величина ПДК» приведены две величины, то это означает, что в числителе максимальная, а в знаменателе - среднесменная ПДК.

2. Условные обозначения.

п - пары и/или газы;

а - аэрозоль;

О - вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе;

Ф - аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

При работе с паяльником следует соблюдать приведенные выше указания из «Межотраслевой типовой инструкции по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником» [23].

Нервно-психические перегрузки

Нервно-психические перегрузки подразделяются на следующие: умственное перенапряжение; перенапряжение анализаторов; монотонность труда; эмоциональные перегрузки.

При первых симптомах психического перенапряжения необходимо: дать нервной системе расслабиться; рационально чередовать периоды отдыха и работы (регламентированные перерывы); начать заниматься спортом; ложиться спать в одно и то же время; в тяжелых случаях обратиться к врачу.

#### Физические перегрузки

При физических перегрузках необходимо уменьшить величину нагрузки на нервно-мышечную систему работников за счет частичного изменения технологии, малой механизации ручных операций, оптимизации режимов труда и отдыха с помощью регламентированных перерывов, рационализации рабочих мест, строгого соблюдения установленных производителем эргономических характеристик машин и оборудования, применения различных защитных приспособлений и оснастки.

### **5.3 Экологическая безопасность**

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

#### **5.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

Источник тока представляет собой печатный узел и медные электроды. В отходах электронного и электротехнического оборудования содержатся тяжелые металлы (барий, стронций, свинец; кадмий, свинец в

источниках тока,); литий (в литиевых, литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторах) [25].

Это очень вредные вещества, которые производитель (импортер) должен утилизировать после завершения жизненного цикла продукта [26]. Утилизация компьютерного оборудования осуществляется по специально разработанной схеме, которая должна соблюдаться в организациях:

1. На первом этапе необходимо создать комиссию, задача которой заключается в принятии решений по списанию морально устаревшей или не рабочей техники, каждый образец рассматривается с технической точки зрения.

2. Разрабатывается приказ о списании устройств.

3. Составляется акт утилизации, основанного на результатах технического анализа, который подтверждает негодность оборудования для дальнейшего применения.

4. Формируется приказ на утилизацию.

5. Утилизацию оргтехники обязательно должна осуществлять специализированная фирма.

6. Получение специальной официальной формы, подтверждающей успешное уничтожение электронного мусора.

После оформления всех необходимых документов, компьютерная техника вывозится со склада на перерабатывающую фабрику. Все полученные в ходе переработки материалы вторично используются в различных производственных процессах [27].

### **5.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Процесс исследования представляет собой работу с информацией, такой как технологическая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также проектирование и моделирование работы



устройства с помощью различных программных комплексов. Таким образом, необходимо создать санитарно-защитную зону, произвести отдельный сбор и хранение отходов, решить вопрос их утилизации или захоронения. Согласно ФЗ «Об отходах производства и потребления» [28] для этого необходимо заключить договор с экологическим оператором на сбор, утилизацию, захоронение и переработку отходов.

Вышедшее из строя ПЭВМ и сопутствующая оргтехника относится к IV классу опасности и подлежит специальной утилизации. Для оказания наименьшего влияния на окружающую среду, экологический оператор должен провести специальную процедуру утилизации ПЭВМ и оргтехники, при которой более 90% отправится на вторичную переработку и менее 10% будут отправлены на свалки. При этом она должна соответствовать процедуре утилизации ГОСТ Р 53692-2009 [29].

В ходе исследования также накапливается бытовой мусор (макулатура, ветошь, искусственные источники освещения), который должен быть утилизирован в соответствии с определенным классом опасности или переработан, чтобы не оказывать негативное влияние на состояние литосферы

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

ЧС – это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям, согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 [29].

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС: пожары, взрывы; внезапное обрушение зданий, сооружений; метеорологические и агрометеорологические опасные явления. Так как объект исследований представляет собой печатный узел, сборка которого осуществляется при помощи паяльной станции, то наиболее вероятной ЧС в данном случае можно назвать пожар в аудитории с используемой паяльной станцией в период сборки устройства.

В аудитории 104, 4 корпуса ТПУ, применяется дорогостоящее оборудование, не горючие и не выделяющие дым кабели. Таким образом, возникновение пожаров происходит из-за человеческого фактора, в частности, это несоблюдение правил пожарной безопасности.

Соблюдение современных норм пожарной безопасности позволяет исключить возникновение пожара в рабочей комнате [30]. Согласно СП 486.1311500.2020 предел огнестойкости помещения должен быть следующим: перегородки - не менее REI 45, стены и перекрытия - не менее REI 45. Т.е. в условиях пожара помещение должно оставаться герметичным в течение 45 минут, препятствуя дальнейшему распространению огня. При разработке проекта необходимо учесть, что автоматическая установка пожаротушения (АУПТ) должна быть обеспечена электропитанием по первой категории. Согласно СП 485.1311500.2020 в системах воздуховодов общеобменной вентиляции, воздушного отопления и кондиционирования воздуха защищаемых помещений следует предусматривать автоматически закрывающиеся при обнаружении пожара воздушные затворы (заслонки или противопожарные клапаны). Работы с вредными и взрывопожароопасными веществами при нанесении припоев, флюсов, паяльных паст, связующих и растворителей должны проводиться при действующей общеобменной и местной вытяжной вентиляции. Системы местных отсосов должны включаться до начала работ и выключаться после их окончания.

## **5.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС**

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении 104, 4 корпуса ТПУ. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями. Основные источники возникновения пожара:

1) Неисправное электрооборудование, неисправности в проводке, розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо вовремя выявлять и устранять неполадки, а также проводить плановый осмотр электрооборудования.

2) Электрические приборы с дефектами. Профилактика пожара включает в себя своевременный и качественный ремонт электроприборов.

3) Перегрузка в электроэнергетической системе (ЭЭС) и короткое замыкание в электроустановке.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров. Пожарная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий:

а) обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);

б) пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;

в) обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода [31]. Согласно ФЗ-123, НПБ 104-03 «Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях» для оповещения о возникновении пожара должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей [32]. Аудитория 104, 4 корпуса ТПУ, оснащена первичными средствами пожаротушения: огнетушителями ОУ-3 1 шт., ОП-3, 1 шт. (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники, класс пожаров А, Е).

В таблице 24 приведены типы огнетушителей, используемых при возгорании в электроустановках.

Таблица 24 – Типы используемых огнетушителей при пожаре в электроустановках [32]

Напряжение, кВ	Тип огнетушителя (марка)
До 1,0	Порошковый (серии ОП)
До 10,0	Углекислотный (серии ОУ)

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу П-2а (таблица 25).

Таблица 25 – Категории помещений по пожарной опасности [32]

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
П-2а	Зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества в количестве, при котором удельная пожарная нагрузка составляет не менее 1 мегаджоуля на квадратный метр.

В корпусе 4 ТПУ имеется пожарная автоматика, сигнализация. В случае возникновения загорания необходимо обесточить электрооборудование, отключить систему вентиляции, принять меры тушения (на начальной стадии) и обеспечить срочную эвакуацию студентов и сотрудников в соответствии с планом эвакуации.

## 5.5 Выводы по разделу

В результате выполнения данного раздела были изучены права работника и проверено рабочее место сотрудника аудитории 104, 4 корпуса ТПУ на соответствие требованиям ГОСТ 12.2.032-78.

Во втором подразделе были рассмотрены вредные и опасные факторы, возникающие в процессе разработки источника регулируемого тока для катушек Гельмгольца, и изучены мероприятия по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов.

В третьем подразделе был проанализирован характер воздействия проектируемого источника на окружающую среду. Выявлены предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

В четвертом подразделе были проанализированы вероятные ЧС, которые может инициировать объект исследований и которые могут возникнуть при проведении исследований. В обоих случаях наиболее вероятно возникновение пожара. Были обоснованы мероприятия по предотвращению ЧС.

Таким образом, в случае внедрения вышеизложенных методов возможно предотвращение влияния вредных и опасных факторов на человека и экологию и рабочее место будет соответствовать нормативно-технической документации.

## **Заключение**

В ходе выполнения ВКР была изучена литература по источникам тока, написан код в программной среде Arduino IDE, проведено моделирование преобразователя напряжения в ток в среде NI Multisim 14.2 и тестирование макета источника тока, также разработана схема электрическая принципиальная выполнена в САПР Altium Designer 19.1.9.

Планируется продолжить работу в данном направлении: собрать клетку Гельмгольца; улучшить программный код так, чтобы вводить значение напряжения вместо букв.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dudzik G. Ultra-stable, low-noise two-stage current source concept for electronics and laser applications / G. Dudzik. – Text : electronic // IET Circuits, Devices & Systems. – 2017 – Vol. 11. – P. 613 - 617. – DOI: 10.1049/iet-cds.2016.0489.
2. Load sensitive stable current source for complex precision pulsed electroplating / O. Nassar, M. Meissner, S. Wadhwa [et al.]. – Text : electronic // Review of Scientific Instruments. – 2019 – 90, 104704. – DOI: 10.1063/1.5113790.
3. External-reference stabilized current source with sub-PPM stability / I. Fan, R. Behr, D. Drung [et al.]. – Text : electronic // Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM), 8-13 July 2018. – 2018. – DOI: 10.1109/CPEM.2018.8500825.
4. A low noise modular current source for stable magnetic field control / V. Biancalana, G. Bevilacqua, P. Chessa [et al.]. – Text : electronic // Review of Scientific Instruments. – 2017. – 88, 035107. – DOI: 10.1063/1.4977931.
5. Патент № RU 181942 U1, Российская Федерация, G05F 1/46 (2006.01). Источник тока, стабилизированный в широком диапазоне напряжения питания : № 2018113328 : заявл. 12.04.2018 : опубл. 30.07.2018 / Игнатьев С. М. ; заявитель: Акционерное общество "Научно-исследовательский институт молекулярной электроники". – 18 с. : ил. – Текст : непосредственный.
6. Линден, Т. Х. Источники опорного напряжения и тока : руководство / Т. Х. Линден. — Москва : ДМК Пресс, 2015. — 576 с. — ISBN 978-5-97060-313-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/97330> (дата обращения: 20.03.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7. Гормаков А.Н. Расчет и моделирование магнитных полей, создаваемых системой «кольца Гельмгольца – соленоид» / А. Н. Гормаков, И.



А. Ульянов – Текст : электронный // Фундаментальные исследования. – 2015. – 9 февраля. – URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37081> (дата обращения: 20.03.2021).

8. Круговые катушки Гельмгольца HNS 5206-16. Текст: электронный // ООО «Интермера» : официальный сайт. – 2021. – URL: [http://intermera.ru/catalog/schwarzbeck-mess-elektronik-ohg/helmholtzcoils/5206\\_16/](http://intermera.ru/catalog/schwarzbeck-mess-elektronik-ohg/helmholtzcoils/5206_16/) (дата обращения: 24.04.2021).

9. Helmholtz Coil Systems . – Text : electronic // ACE Industry Magazine. – 2019. – URL: <https://aceindustrymag.com/helmholtz-coil-systems> (дата обращения: 24.04.2021).

10. Волович, Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств : учебное пособие / Г. И. Волович. — 3-е изд. — Москва : ДМК Пресс, 2011. — 528 с. — ISBN 978-5-94120-254-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/61027> (дата обращения: 24.05.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. KSP2222A - NPN General-Purpose Amplifier. – Текст : электронный // «ЧИП и ДИП» - Приборы, Радиодетали и Электронные компоненты : официальный сайт. – 2021. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/958/DOC002958634.pdf> (дата обращения: 24.04.2021).

12. AD8675 (Rev. E). – Текст : электронный // Mouser Electronics : официальный сайт. – 2021. – URL: <https://ru.mouser.com/datasheet/2/609/AD8675-1502358.pdf> (дата обращения: 23.04.2021).

13. REF19x Series Precision Micropower, Low Dropout Voltage References Data Sheet (Rev. I). – Текст : электронный // «ЧИП и ДИП» - Приборы, Радиодетали и Электронные компоненты : официальный сайт. – 2021. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/150/DOC000150568.pdf>, (дата обращения: 24.04.2021).

14. Инструкция Тройка-DAC Screw Terminal. – Текст : электронный // «ЧИП и ДИП» - Приборы, Радиодетали и Электронные компоненты :

официальный сайт. – 2021. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/184/DOC007184114.pdf>, (дата обращения: 24.04.2021).

15. Arduino Nano. – Текст : электронный // «ЧИП и ДИП» - Приборы, Радиодетали и Электронные компоненты : официальный сайт. – 2021. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/738/DOC002738619.pdf>, (дата обращения: 24.04.2021).

16. Three Terminal Positive Voltage Regulator. – Текст : электронный // «ЧИП и ДИП» - Приборы, Радиодетали и Электронные компоненты : официальный сайт. – 2021. – URL: <https://static.chipdip.ru/lib/230/DOC005230957.pdf>, (дата обращения: 24.04.2021).

17. Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 30 апреля 2021 года) (редакция, действующая с 1 мая 2021 года) : Федеральный закон № 197-ФЗ : [принят Государственной думой 30 декабря 2001 года]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664?section=text> (дата обращения: 27.04.2021). – Текст : электронный.

18. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования : дата введения 1979-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913?section=status> (дата обращения: 27.04.2021). – Текст : электронный.

19. ГОСТ 12.0.003-2015. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация : дата введения 2017-03-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071?section=text> (дата обращения: 27.04.2021). – Текст : электронный.

20. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: официальное издание : введены в действие 01.03.21 . – URL:

<https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 24.10.2020). – Текст : электронный.

21. Сводная ведомость результатов проведения специальной оценки условий труда. – Текст : электронный // Национальный исследовательский Томский политехнический университет : официальный сайт. – 2019. – URL: [https://portal.tpu.ru/departments/otdel/oot/Tab1/Tab1/svod\\_2019\\_sokr.pdf](https://portal.tpu.ru/departments/otdel/oot/Tab1/Tab1/svod_2019_sokr.pdf) (дата обращения: 27.04.2021).

22. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : официальное издание : введены в действие 04.03.80. . – URL: <http://etp-perm.ru/el/pue> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

23. ТИ Р М-075-2003. Межотраслевая типовая инструкция по охране труда для работников, занятых пайкой и лужением изделий паяльником : официальное издание : введены в действие 01.12.03. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901899291> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

24. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : дата введения 1989-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608?section=text> (дата обращения: 24.04.2021). – Текст : электронный.

25. Джусупова Д. Б. Образование и утилизации электронных отходов как экологическая проблема современности / Джусупова Д.Б., Сайлаубекова П.Н. – Текст : электронный // Norwegian journal of development of the international science: – 2018. – URL: [https://ezproxy.ha.tpu.ru:2154/download/elibrary\\_36846316\\_80303933.pdf](https://ezproxy.ha.tpu.ru:2154/download/elibrary_36846316_80303933.pdf) (дата обращения: 09.02.2020).

26. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон № 89-ФЗ : [принят Государственной думой 24 июня 1998 года]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901711591> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

27. Необходимость утилизации компьютерной техники . – Текст : электронный // VtorOthodi.ru: сайт о переработке отходов. – 2021. – URL: [https://vtorothodi.ru/utilizaciya/utilizacija\\_kompjuterov](https://vtorothodi.ru/utilizaciya/utilizacija_kompjuterov) (дата обращения: 12.04.2021).

28. ГОСТ Р 53692-2009. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Этапы технологического цикла отходов : дата введения 2009-12-05. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200081740?section=text> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

29. ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения основных понятий отходов : дата введения 2016-09-12. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139176?section=text> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

30. СП 485.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования : официальное издание : введены в действие 01.03.21. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573004280?section=text> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

31. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон № 123-ФЗ : [принят Государственной думой 22 июля 2008 года]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

32. НПБ 104-03 Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях (Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в зданиях и сооружениях) : официальное издание : введены в действие 30.06.03. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901866573?section=text> (дата обращения: 12.04.2021). – Текст : электронный.

**Приложение Г  
(обязательное)**

**Временные показатели проведения научного исследования**

Таблица Г.1 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоёмкость работ						Исполните ли		Т <sub>р</sub> , раб. дн.		Т <sub>к</sub> , кал. дн.	
		t <sub>min</sub> , чел-дн.		t <sub>max</sub> , чел-дн.		t <sub>ож</sub> , чел-дн.		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2						
1	Выбор направления исследований	2	2	7	5	4	3,2	2	2	2	1,6	3	2
2	Составление технического задания	5	5	14	14	8,6	8,6	2	2	4,3	4,3	6	6
3	Подбор и изучение материалов	14	14	25	25	18,4	18,4	1	1	18,4	18,4	27	27
4	Патентный обзор литературы	7	7	10	10	8,2	8,2	1	1	8,2	8,2	12	12
5	Календарное планирование работ по теме	3	3	7	7	4,6	4,6	2	2	2,3	2,3	3	3
6	Построение электрической схемы	20	10	30	20	24	14	2	2	12	7	18	10
7	Моделирование работы устройства	7	7	10	10	8,2	8,2	1	1	8,2	8,2	12	12
8	Подбор компонентов	7	7	20	20	12,2	12,2	2	2	6,1	6,1	9	9
9	Написание программного кода устройства	30	30	45	45	36	36	1	1	36	36	53	53
10	Моделирование корпуса устройства	20	20	30	30	24	24	1	1	24	24	36	36
11	Построение макетов и проведение экспериментов	30	30	50	50	38	38	2	2	19	19	28	28
12	Анализ полученных результатов	10	10	15	15	12	12	2	2	6	6	9	9
13	Оценка эффективности полученных результатов	3	3	10	10	5,8	5,8	2	2	2,9	2,9	4	4
14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	15	15	30	25	21	19	1	1	21	19	31	28
Итого									192		251	239	

Р – руководитель;

Б – бакалавр;

К<sub>1</sub> – консультант по экономической части;

К<sub>2</sub> – консультант по социальной ответственности

**Приложение Д**  
**(обязательное)**

**Календарный план-график проведения НИОКР**

Таблица Д.1–Календарный план-график проведения НИОКР

№ работ	Вид работы	Исполнители	T <sub>кп</sub> , дней	Продолжительность выполнения работ																										
				сентябрь			октябрь			ноябрь			декабрь			январь			февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент	3	█																										
2	Составление технического задания	Научный руководитель, студент	6	█	█																									
3	Подбор и изучение материалов	студент	27		█	█	█																							
4	Патентный обзор литературы	студент	12					█	█																					
5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, студент	3																											
6	Построение электрической схемы	Научный руководитель, студент	18																											
7	Моделирование работы устройства	Студент	12																											
8	Подбор компонентов	Консультант, студент	9																											
9	Написание программного кода устройства	Студент	53																											
10	Моделирование корпуса устройства	Студент	36																											
11	Построение макетов и проведение экспериментов	Консультант, студент	28																											
12	Анализ полученных результатов	Научный руководитель, студент	9																											
13	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, студент	4																											
14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент	31																											

Научный руководитель, студент	Консультант, студент	Студент
█	█	█