

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
Отделение контроля и диагностики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Контроль температуры Кюри в замещенных ферритах с помощью термомагнитометрического анализа

УДК 537.638.214:543.57:621.318.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Головин Никита Дмитриевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Лысенко Е.Н.	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева И.И.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<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 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)-3	Способность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат
ОПК(У)-4	Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способность обрабатывать и представлять данные экспериментальных исследований
ОПК(У)-6	Способность собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования
ОПК(У)-7	Способность использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации
ОПК(У)-8	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности
ОПК(У)-9	Способность владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-10	Готовность пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-5	Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях
ПК(У)-6	Способность к оценке технологичности и технологическому контролю простых и средней сложности конструкторских решений, разработке типовых процессов контроля параметров механических, оптических и оптико-электронных деталей и узлов
ПК(У)-7	Готовность к участию в монтаже, наладке настройке, юстировке, испытаниях, сдаче в эксплуатацию опытных образцов, сервисном обслуживании и ремонте техники
ПК(У)-8	Способность к расчету норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, инструмента, выбору типового оборудования, предварительной оценке экономической эффективности техпроцессов
ПК(У)-9	Способность к разработке технических заданий на конструирование отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по доводке и освоению техпроцессов в ходе технологической подготовки оптического производства
ПК(У)-11	Способность к организации входного контроля материалов и комплектующих изделий
ПК(У)-12	Готовность к внедрению технологических процессов производства, метрологического обеспечения и контроля качества элементов приборов различного назначения

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Б.Б. Мойзес

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Б81	Головин Никита Дмитриевич

Тема работы:

Контроль температуры Кюри в замещенных ферритах с помощью термомагнитометрического анализа	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 358-10/с от 24.12.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является кобальт-цинковый феррит $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ . Термический анализатор Netzsch STA 449C: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Максимальная температура нагрева до 1600 °С.</li> <li>• Диапазон скорости нагрева и охлаждения 0,01 ÷ 50 К/мин.</li> </ul>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обзор магнитных свойств ферритов</li> <li>• Обзор методов измерения температуры Кюри;</li> <li>• Подготовка экспериментальных образцов;</li> <li>• Описание термического анализатора;</li> <li>• Экспериментальная часть;</li> <li>• Социальная ответственность;</li> <li>• Финансовый менеджмент</li> </ul>
<b>Перечень графического материала</b>	

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Гасанов Магеррам Али оглы, профессор ОСГН, д.э.н.
«Социальная ответственность»	Авдеева Ирина Ивановна, старший преподаватель ООД
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	08.10.2021

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Лысенко Елена Николаевна	д.т.н.		08.10.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Головин Никита Дмитриевич		08.10.2021

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения 2021/2022 учебные 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:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.10.2021	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	10
09.12.2021	Обзор магнитных свойств ферритов и методов измерения температуры Кюри	5
13.01.2022	Подготовка экспериментальных образцов и описание термического анализатора Netzsch STA 449C	20
08.02.2022	Проведения серии экспериментов по измерению температуры Кюри подготовленных образцов	20
13.04.2022	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
15.05.2022	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
25.05.2022	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Лысенко Е.Н.	д.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 12.03.01 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б81	Головин Никита Дмитриевич

Школа	Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы (НОЦ)	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	12.03.01 Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

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

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

**Перечень графического материала**

1. Оценка конкурентоспособности ИП
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	04.03.2022
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОСГН	Гасанов М.А.	Д.э.н.		04.03.22

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Головин Никита Дмитриевич		04.03.22

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
1Б81		Головин Никита Дмитриевич	
<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>Отделение контроля и диагностики</b>
<b>Уровень образовани я</b>	бакалавриат	<b>Направление/ специальность</b>	12.03.01 Приборостроение

Тема ВКР:

<b>Контроль температуры Кюри в замещенных ферритах с помощью термомагнитометрического анализа</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<b>Введение</b>	<p><i>Объект исследования:</i> Температура Кюри в замещенных ферритах.</p> <p><i>Область применения:</i> Неразрушающий контроль.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> Лаборатория.</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 4*8 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> термический анализатор Netzsch STA 449C Jupiter; порошок на основе кобальт-цинкового феррита, обожженный и представленный в виде брикета, при работе не рассыпается; персональный компьютер.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> Измерение температуры Кюри в замещенных ферритах с помощью термического анализатора Netzsch STA 449C Jupiter; обработка экспериментальных данных.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b>	<p>Приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15.12.2020 N 903н.</p> <p>Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок;</p> <p>ТК РФ Статья 336. Особенности регулирования труда научных работников, руководителей научных организаций, их заместителей;</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p> <p>Приказ Министерства труда и социальной защиты России от 29 октября 2021 года № 772н. Об утверждении основных требований к порядку разработки и содержанию правил и инструкций по охране труда.</p>
<b>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</b>	<p><b>Вредные производственные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</li> <li>Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума;</li> </ol>

	<p>4. Повышенный уровень общей вибрации;</p> <p>5. Монотонность труда, вызывающая монотонию;</p> <p>6. Длительное сосредоточенное наблюдение;</p> <p><b>Опасные производственные факторы:</b></p> <p>1. Повышенное образование электростатических зарядов;</p> <p>2. Короткое замыкание;</p> <p>3. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> система искусственного освещения, вентиляция, использование резиновых перчаток, беруши.</p>
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> нет.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> выбросы из вентиляционных систем лаборатории.</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> попадание вредных веществ при утилизации ферритовых порошков.</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> утилизация перегоревших люминесцентных ламп, вышедшая из строя оргтехника.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<p><b>Возможные ЧС:</b> Природные ЧС (гроза, ураган и т.д.); Поражение электрическим током; Техногенные аварии (отказ систем безопасности; пожар)</p> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b> Короткое замыкание в блоке питания.</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
<b>01.03.2022</b>	

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Головин Никита Дмитриевич		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из: 83 стр, 20 рис., 21 табл., 33 источника литературы.

Ключевые слова: температура Кюри, ферриты, магнитные материалы, термомагнитометрический анализ, термический анализатор, кобальт-цинковый феррит.

Объектом исследования является температура Кюри кобальт-цинкового феррита.

Цель работы: определение температуры Кюри кобальт-цинкового феррита с помощью термомагнитометрического анализа.

В процессе исследования проводились: обзор литературы по теме, подготовка экспериментальных образцов, экспериментальные исследования, анализ результатов экспериментов.

В результате исследования с помощью термомагнитометрического анализа была установлена температура Кюри для кобальт-цинкового феррита.

Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики: конструктивные параметры термического анализатора, скорость нагрева и охлаждения, атмосфера внутри анализатора.

Степень внедрения: результаты исследования будут использованы для дальнейшего изучения магнитных характеристик материалов с помощью термомагнитометрии.

Область применения: радиотехника и электроника.

Экономическая эффективность/значимость работы: в сравнении с другими методами измерения температуры Кюри, термомагнитометрия позволяет производить исследования быстрее, точнее с использованием малого количества исследуемого материала (~10 мг) в виде порошка или керамики.

**В данной работе используются следующие сокращения:**

ТГА – термогравиметрический анализ;

ТГ – термогравиметрия;

ДТГ – деривативная термогравиметрия

НИП – научно-исследовательский проект;

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина.

## Оглавление

Введение.....	14
<b>1 Обзор научной литературы.....</b>	<b>15</b>
1.1 Магнитные свойства ферритов.....	15
1.2 Методы измерения температуры Кюри ферритов .....	22
1.2.1 Метод электромагнитной индукции .....	22
1.2.2 Термогравиметрический метод .....	23
<b>2 Методика эксперимента .....</b>	<b>25</b>
2.1 Подготовка экспериментальных образцов .....	25
2.2 Описание прибора термического анализа STA 449C Jupiter.....	26
<b>3 Экспериментальные результаты.....</b>	<b>31</b>
<b>4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....</b>	<b>40</b>
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	41
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений.....	41
4.1.2 SWOT-анализ .....	43
4.2 Планирование научно-исследовательских работ .....	48
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	48
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	49
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	50
4.3 Бюджет научно-технического исследования .....	53
4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования .	53

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	54
4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы .....	56
4.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	59
4.3.5 Накладные расходы .....	60
4.3.6 Бюджетная стоимость НИР .....	61
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	61
<b>5 Социальная ответственность .....</b>	<b>64</b>
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	64
5.1.1 Правовые нормы трудового законодательства.....	64
5.2 Производственная безопасность .....	65
5.2.1 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.....	67
5.2.2 Аномальные микроклиматические параметры воздушной среды на местонахождении работающего .....	68
5.2.3 Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума.....	69
5.2.4 Повышенный уровень общей вибрации .....	69
5.2.5 Монотонность труда и длительное сосредоточенное наблюдение	70
5.2.6 Повышенное образование электростатических зарядов .....	71
5.2.7 Короткое замыкание .....	71
5.2.8 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.....	72
5.3 Экологическая безопасность .....	73

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	75
5.5 Выводы по разделу .....	77
<b>Заключение.....</b>	<b>78</b>
<b>Список использованных источников .....</b>	<b>80</b>

## **Введение**

Определение температуры Кюри в магнитных материалах – это необходимый параметр для создателя приборов в электронике или радиотехнике. Зная точку Кюри, используемого материала, обозначаются температурные границы, в которых созданный прибор или изобретение может работать, так как при превышении температуры материал теряет свои магнитные свойства.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в исследовании контроля температуры Кюри в замещенных ферритах с помощью магнитометрического анализа. Для выполнения контроля используется термоанализатор STA 449 C Jupiter.

Целью в данной работе является определение точки Кюри для кобальт-цинкового феррита методом магнитометрического анализа, а также проверить, влияет ли скорость нагрева и охлаждения, а также атмосфера, в которой находится образец на точку Кюри.

Для достижения данной цели были определены следующие задачи:

- Изучить магнитные свойства ферритов, а также их разновидности;
- Рассмотреть методы определения температуры Кюри, включая термомагнитометрический метод;
- Подготовить экспериментальные образцы для проведения исследования;
- Провести исследования образцов в разных условиях;
- Рассчитать экономической эффективности метода определения точки Кюри;
- Проработать вопросы социальной ответственности;

# 1 Обзор научной литературы

## 1.1 Магнитные свойства ферритов

К ферритам относят химические соединения оксида железа  $Fe_2O_3$  с оксидами других металлов. Данные соединения широко применяются в вычислительной технике и радиоэлектронике, в виду своих уникальных магнитных свойств. К таковым можно отнести полупроводниковые и диэлектрические свойства, которые сочетаются с высокой намагниченностью.

Различают ферриты по следующим группам:

- Шпинели;
- Гранаты;
- Ортоферриты;
- Гексаферриты.

Ферриты-шпинели имеют структуру минерала шпинели с общей формулой  $MeFe_2O_4$ , где  $Me - Ni^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Mg^{2+}, Li^{2+}, Cu^{2+}$

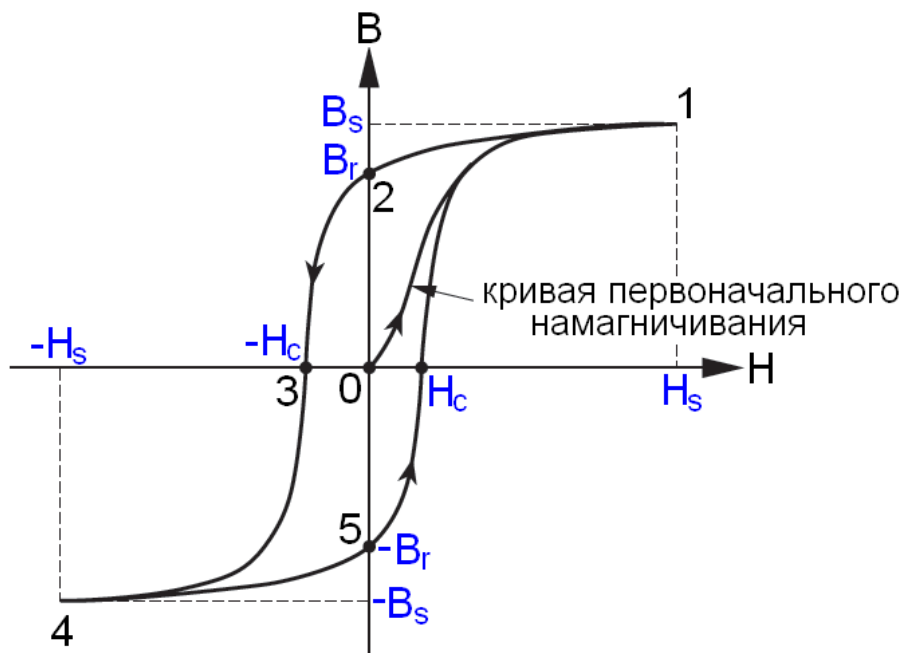
Ферриты-гранаты редкоземельных элементов  $R^{3+} (Gd^{3+}, Tb^{3+}, Dy^{3+}, Ho^{3+}, Er^{3+}, Sm^{3+}, Eu^{3+})$  и иттрия  $Y^{3+}$  имеют кубическую структуру гранат с общей формулой  $R_3Fe_5O_{12}$ .

Ортоферритами называют группу Ферритов с орторомбической кристаллической структурой. Их образуют редкоземельные элементы или иттрий по общей формуле  $RFeO_3$ . По сравнению с ферритами-гранатами они имеют небольшую намагниченность, так как обладают неколлинеарным антиферромагнетизмом (слабым ферромагнетизмом) и только при очень низких температурах (порядка нескольких К и ниже) — ферримагнетизмом.

Ферриты гексагональной структуры (гексаферриты) М-типа имеют общую формулу  $MeFe_{12}O_{19}$ , где  $Me -$  ионы Ba, Sr или Pb. [1-3]

## Основные электромагнитные параметры ферритов

Рассмотрим фундаментальное свойство ферритового материала – гистерезис (рис. 1.).



$H$  – напряженность внешнего магнитного поля.  $B$  – магнитная индукция внутри ферритового материала

Рисунок 1 – петля гистерезисного цикла феррита.

В точке  $0$  феррит полностью размагничен. При увеличении прикладываемого внешнего магнитного поля ( $H$ ), происходит процесс намагничивания феррита. Данный процесс показан на кривой  $0-1$ , так называемой кривой первоначального намагничивания. В точке  $1$  намагниченность феррита достигает индукции насыщения ( $B_s$ ). Следующим этапом является снижение напряженности внешнего магнитного поля до нуля. Из-за отсутствия внешнего магнитного поля феррит размагничивается до остаточной магнитной индукции ( $B_r$ ), что отображено на кривой  $1-2$ . Для того, чтобы размагнитить феррит, т.е. магнитную индукцию привести к нулю, кривая  $2-3$ , необходимо приложить внешнее магнитное поле  $H_c$ , которое противоположно вызвавшему намагничивание. Напряженность внешнего магнитного поля  $H_c$  так



же называют коэрцитивной силой. Если продолжить прикладывать магнитное поле в обратном направлении, то феррит снова намагнитится до магнитной индукции  $B_s$ , но с противоположным знаком. В случае воздействия на феррит внешним переменным магнитным полем, то его индукция будет изменяться согласно кривой 1-2-3-4-5-1, что называют петлями гистерезиса.

От ширины петли гистерезиса ферриты можно разделить на магнитотвердые и магнитомягкие (рис. 2). Магнитотвердыми ферритами принято считать такие ферриты, значения коэрцитивной силы ( $H_c$ ) и остаточной намагниченности ( $B_r$ ) достаточно велики ( $H_c > 125 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$ ,  $B_r > 0,19 \text{ Тл}$ ). Такие ферриты намагничиваются и перемагничиваются в сравнительно сильных магнитных полях. Такие ферриты можно характеризовать широкой петлей гистерезиса. Магнитомягкие ферриты различают по коэрцитивной силе и магнитной проницаемости  $\mu$  ( $H_c < 100 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ ,  $\mu$  до  $10^5$ ). Данные ферриты намагничиваются в слабых магнитных полях (До  $800 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ ) и характеризуются узкой петлей гистерезиса. [4,5]

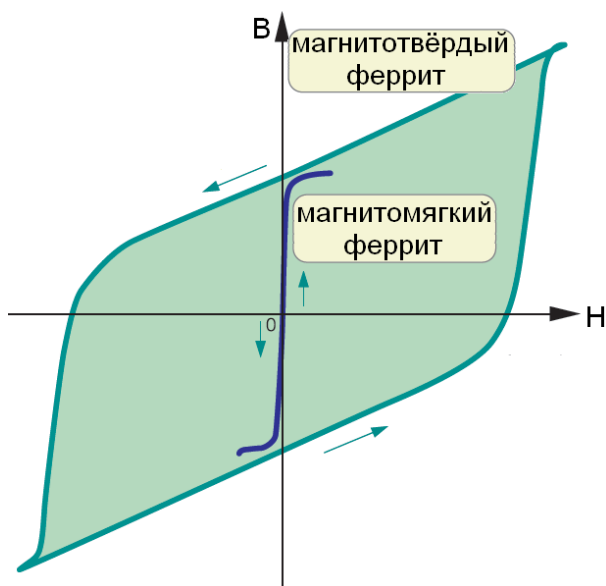


Рисунок 2 – Петля гистерезисного цикла магнитомягкого и магнитотвёрдого ферритов

Для ферритов магнитная проницаемость является одним из ключевых параметров. Ее связь с напряженностью магнитного поля ( $H$ ) и магнитной индукцией ( $B$ ) можно описать через следующую формулу:

$$B = \mu_{ab} \cdot H = \mu_0 \cdot \mu \cdot H, \quad (1)$$

Где  $\mu_{ab}$  – абсолютная магнитная проницаемость;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость вакуума ( $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ )  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость

В связи с нелинейной зависимостью  $B = f(H)$  проницаемость  $\mu$  не является величиной постоянной. На рис. 3 приведена характерная зависимость магнитной проницаемости  $\mu$  ферритового материала от напряженности магнитного поля  $H$ . Здесь же представлена кривая первоначального намагничивания  $B(H)$ .

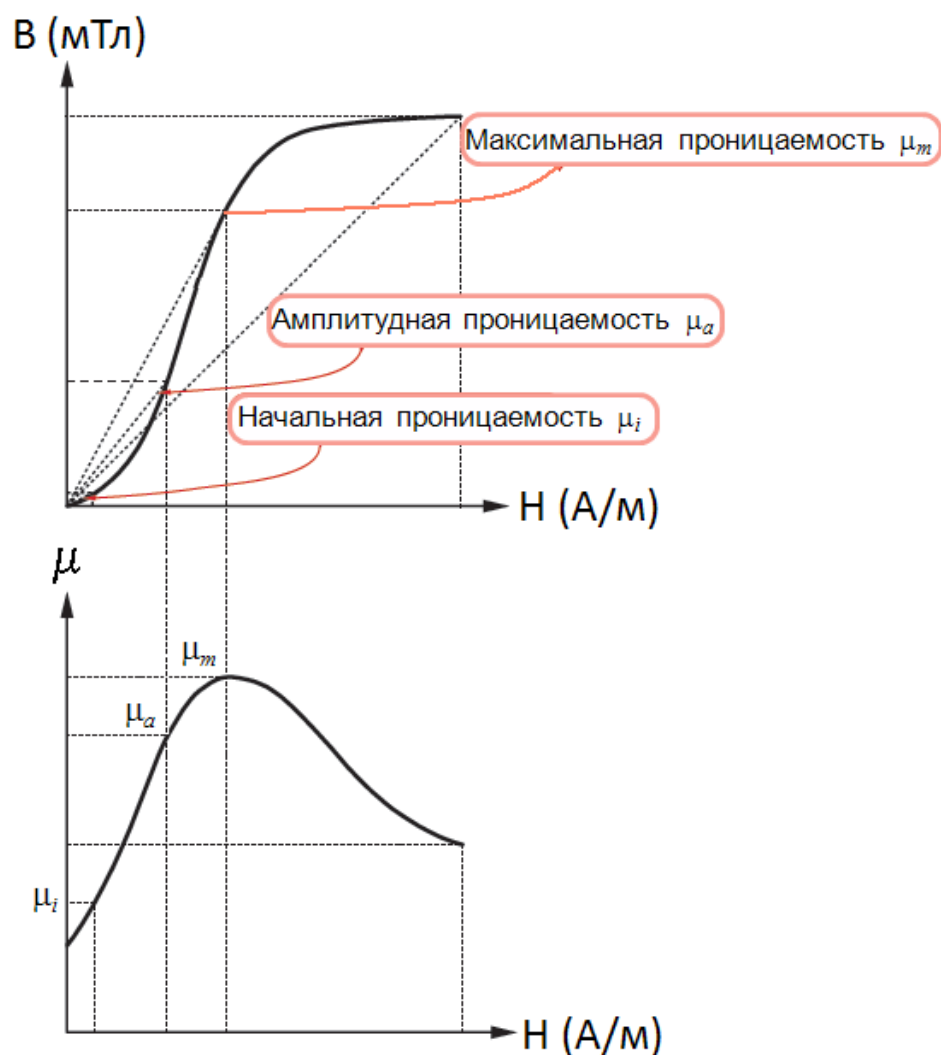


Рисунок 3 – Кривая первоначального намагничивания и зависимость магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля

Для определения начальной, амплитудной и максимальной магнитных проницаемостей на графике  $B(H)$  проводят касательные из начала координат в точки кривой намагниченности и определяют тангенс угла наклона данной касательной к данной точке, получая такое же отношение, как и из формулы 1:

$$\mu = \frac{B}{H}. \quad (2)$$

Значение магнитной проницаемости достигается максимум при приближении к области насыщения кривой намагничивания. В случае

увеличения напряженности магнитного поля  $H$ , кривая намагниченности пойдет на спад.

Помимо магнитной индукции и напряженности магнитного поля на величину магнитной проницаемости может влиять температура (рис. 4). При увеличении температуры, увеличивается и магнитная проницаемость, но при достижении определенной температуры, проницаемость будет уменьшаться до проницаемости в вакууме, т.е  $\mu = 1$ . Такую температурную отметку, при которой феррит теряет свои магнитные свойства назвали температурой Кюри. Данную температуру можно определить через график зависимости магнитной проницаемости от температуры. От точки максимального значения магнитной проницаемости откладывают две точки:  $0.2 \mu_{imax}$  и  $0.8 \mu_{imax}$  (20% и 80% от максимального значения начальной магнитной проницаемости, соответственно), далее через данные две точки проводят прямую, и точка в которой пересечется данная прямая и прямая  $\mu_i = 1$  позволяет определить значение температуры Кюри. Пример данного алгоритма можно рассмотреть на рисунке 4.

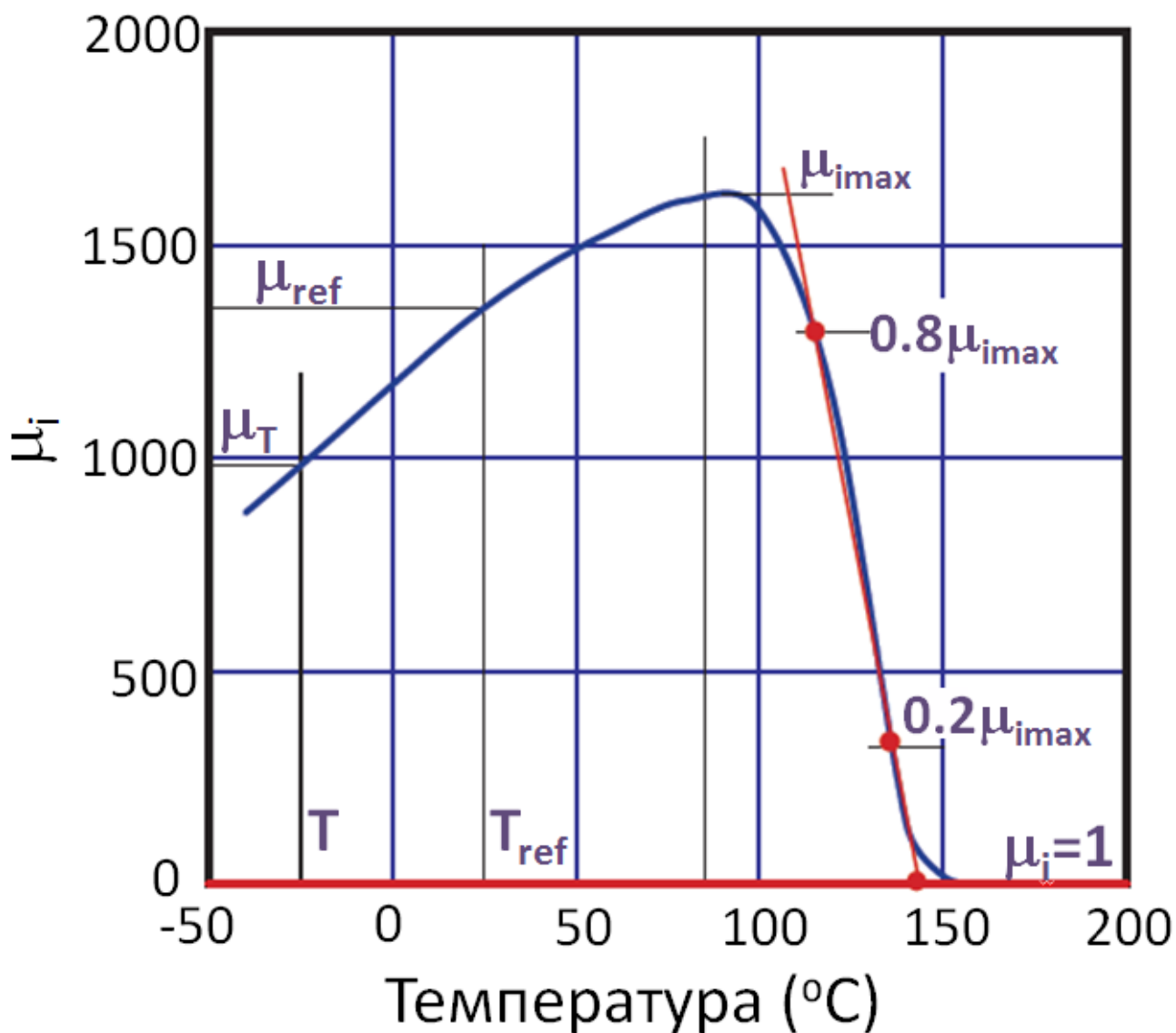


Рисунок 4 – Зависимость начальной магнитной проницаемости от температуры.

Каждый феррит имеет свои индивидуальные свойства, которые будут влиять на характер зависимости магнитной проницаемости от температуры. Чтобы использовать феррит в исследованиях или производстве необходимо четко знать в каких температурных диапазон он будет сохранять свои магнитные свойства. Для этого вводят показатели изменения проницаемости от температуры

вводят температурный коэффициент  $\alpha_\mu$  проницаемости и относительный температурный коэффициент  $\alpha_F$  проницаемости:

$$\alpha_\mu = \frac{(\mu_T - \mu_{ref})}{\mu_{ref} \cdot (T - T_{ref})}$$

$$\alpha_F = \frac{(\mu_T - \mu_{ref})}{\mu_{ref}^2 \cdot (T - T_{ref})},$$

где  $\mu_{ref}$  – магнитная проницаемость при референсной температуре  $T_{ref}$ ;  $\mu_T$  – магнитная проницаемость при температуре  $T$

Нормативным значением  $T_{ref}$  рекомендуется брать 25 °С. В зависимости от планируемого использования ферритовых материалов температура  $T$  будет меняться. [4]

## 1.2 Методы измерения температуры Кюри ферритов

Температура Кюри – это температура фазового перехода 2 рода, связанного со скачкообразным изменением свойств симметрии вещества. Для ферритов – это потеря магнитной симметрии, что характеризует потерю их магнитных свойств.

### 1.2.1 Метод электромагнитной индукции

Данный метод заключается в измерении общей ЭДС индукции внешнего магнитного поля и ферромагнетика, помещенного в измерительную катушку, размещенную в данном поле.

Исследуемый образец помещается в измерительную катушку с количеством витков  $N$ . Далее данную катушку вносят в переменное магнитное поле постоянной амплитуды  $H = H_0 \cdot \cos(\omega t)$ . Индукция  $B$ , создаваемая образцом создает магнитный поток  $\Phi$ . Данные переменные также являются периодическими функциями времени, т.е:

$$\Phi = B_0 \cdot S \cdot \cos(\omega t)$$

Таким образом по закону электромагнитной индукции Фарадея в N-витковые катушки возникает ЭДС индукции:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -n \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

Преобразовав выражение (3) получим следующее:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = n \cdot B_0 \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$$

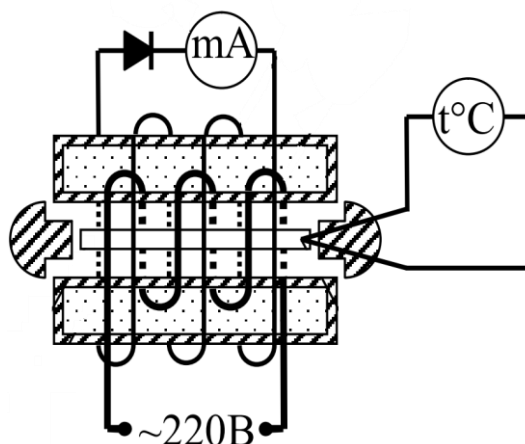


Рисунок 5 – экспериментальная установка к индукционному методу

Из этого можно сделать вывод, что создаваемая ЭДС индукции прямо пропорциональна амплитудному значению индукции исследуемого объекта. Взаимосвязь точки Кюри и индукции заключается в том, что индукция внешнего поля и катушки складываются, тем самым при потери магнитных свойств образца произойдет скачкообразное уменьшение индукции поля, что будет говорить о переходе ферромагнетик-парамагнетик, т.е. ЭДС индукции резко уменьшится. [5]

### 1.2.2 Термогравиметрический метод

Термогравиметрический анализ (ТГА) – метод термического анализа, основанного на регистрации изменения веса исследуемого образца посредством нагрева или охлаждения с заданной скоростью. Результатом анализа является

Термогравиметрическая (ТГ) кривая – зависимость изменения массы от температуры или времени.

Данный метод реализуется с помощью термоанализатора, принцип работы которого заключается в следующем. Исследуемое магнитное вещество оказывает давление через корпус термопары на одно плечо весов. При воздействии на него внешнего магнитного поля нарушается равновесие весов. Далее начинается нагрев образца, что сопровождается уменьшением намагниченности, тем самым система постепенно приходит в положение равновесия. При достижении точки Кюри, исследуемый образец полностью теряет свои магнитные свойства, и система весов возвращается в равновесие. Современные приборы позволяют отображать первую производную ТГ кривой – деривативную ТГ (ДТГ). ДТГ позволяет установить момент времени или температуру, при которой образец достиг точки Кюри.

Для проведения калибровок прибора необходимо использовать эталоны, указанные производителем. Обычно такими эталонами являются чистые вещества, при нагревании которых, они переходят в другое агрегатное состояние.

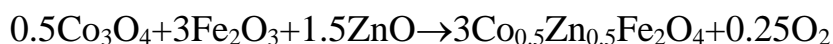


## 2 Методика эксперимента

### 2.1 Подготовка экспериментальных образцов

Термогравиметрический анализ проводился на термическом анализаторе Netzsch STA449C Jupiter. В качестве атмосферы внутри анализатора были использованы воздух и азот. В качестве исследуемого материала был использован кобальт-цинковый феррит  $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ .

Данный феррит был получен с помощью керамического метода. Для этого в качестве исходных реагентов использовались следующие оксиды:  $Fe_2O_3$ ,  $ZnO$ ,  $Co_3O_4$ . Предварительно данные оксиды были высушены в лабораторной печи и смешаны в агатовой ступке в необходимых весовых пропорциях согласно уравнению реакции:



После этого смесь исходных реагентов  $Co_3O_4$ - $Fe_2O_3$ - $ZnO$  была тщательно перемешана и активирована в планетарной мельнице Retsch Emax в течение 60 минут на воздухе. Механическую активацию проводили с использованием размольных стаканов и шаров из нержавеющей стали. Скорость вращения барабанов составила 2000 об/мин.

Перед проведением синтеза образцы компактировались в виде таблеток методом одного стороннего холодного прессования. Кобальт-цинковый феррит был синтезирован методом твердофазного синтеза согласно вышеприведенному уравнению в печи при температуре 900 °С в течение 240 минут. Контроль температуры в процессе синтеза осуществлялся с использованием платино – платино-родиевой термопары.

Контроль образовавшейся ферритовой фазы осуществляли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре ARL X'TRA. Измеренные дифрактограммы были проанализированы с помощью метода полнопрофильного фазового анализа, который был основан на использовании программного

комплекса POWDER CELL 2.5. Идентификация фаз проводилась с использованием порошковой базы данных PDF-4 Международного центра дифракционных данных (ICDD). Для этого использовалась карточка JCPDS No. 17-8598, приведенная в Приложении 1.

На рисунке 1 показана полученная дифрактограмма, которая показывает набор отражений шпинельной фазы, соответствующих синтезированному Co-Zn ферриту состава  $\text{Co}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$  с параметром решетки 8.4206 Å.

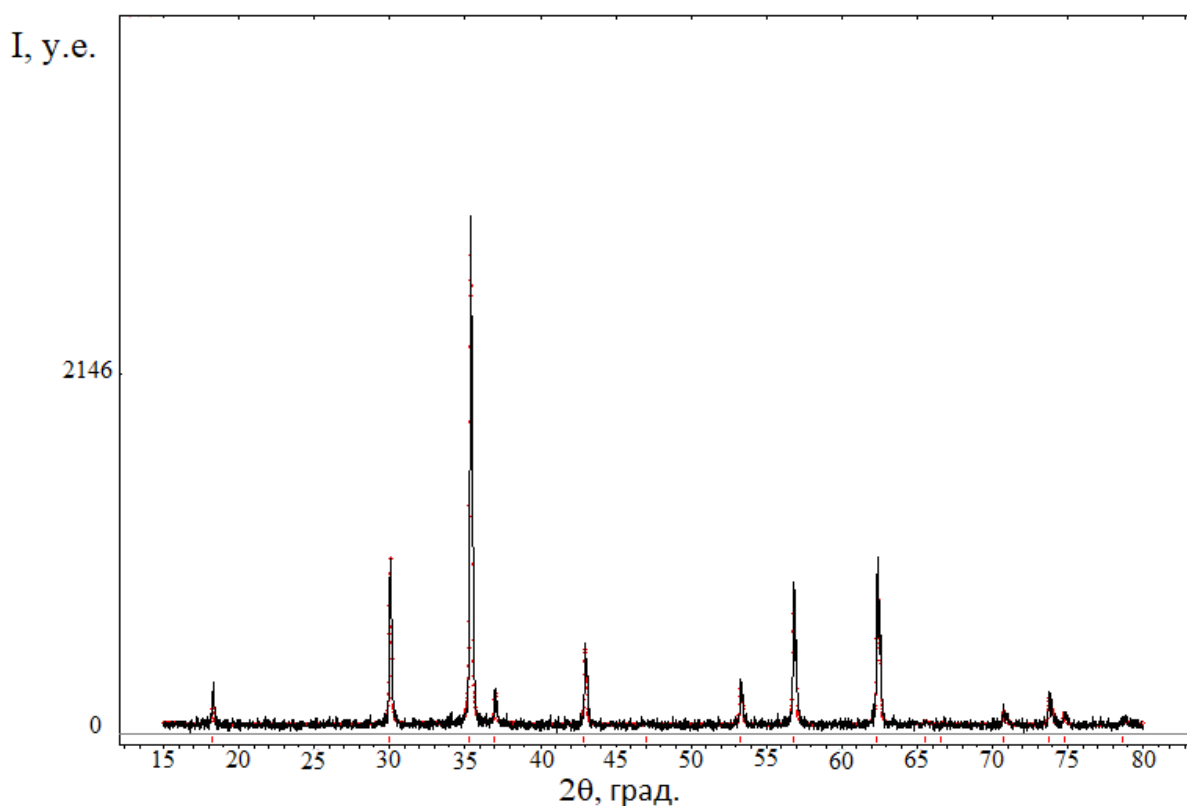


Рисунок 6 – Дифрактограмма Co-Zn феррита

## 2.2 Описание прибора термического анализа STA 449C Jupiter

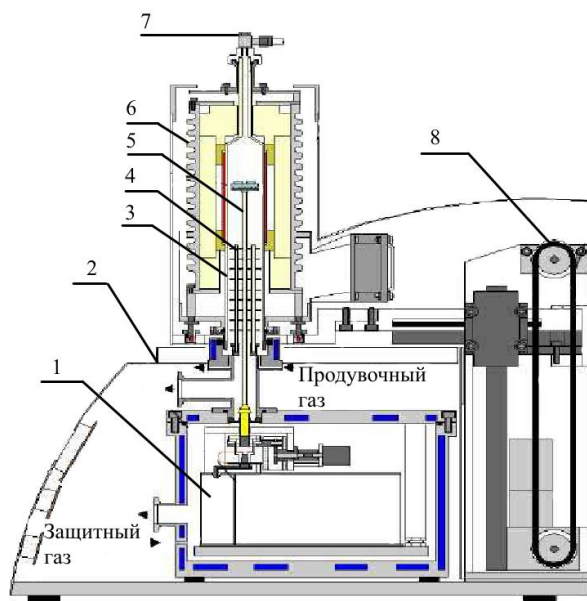
С помощью термического анализатора исследование ТГ кривой будет происходить в двух режимах: зависимость изменения массы исследуемого феррита от времени или изотермическое исследование. Данный метод позволит отобразить переход ферромагнетик-парамагнетик, именно данный переход олицетворяется изменением массы. Второй режим – динамический, изучается

зависимость изменения массы от температуры. Посредством данного режима возможно более детально проанализировать точку Кюри.

Как было сказано ранее, проведения всех экспериментов происходило с помощью термического анализатора STA 449C Jupiter (рис. 7). Данный прибор выдерживает достаточно высокие температуры для исследования различных материалов, диапазон нагрева от комнатной температуры до 1500 °С. Для разных экспериментов необходимы разные скорости нагрева и охлаждения, прибором заложен диапазон (0,01 ÷ 50) К/мин. Для размещения исследуемого материала в прибор предназначены тигли из  $Al_2O_3$  объемом 0,085 мл. Чувствительность весов данного прибора составляет 0.1 мкг, так как массы исследуемых материалов варьируются в порядке десятков мг. На рисунке 9 показана весовая часть анализатора.



Рисунок 7 – Вид термического анализатора Netzsch STA 449C Jupiter



1 – термовесы; 2 – корпус анализатора; 3 – защитная трубка; 4 – радиационный экран; 5 – прободержатель; 6 – печь; 7 – отверстие для вывода газа; 8 – подъемное устройство

Рисунок 8 – Схема весовой части термического анализатора Netzsch STA 449C

Как показано на рисунке 8, с внешней стороны закрепляются два магнита для создания внешнего магнитного поля порядка  $5 \text{ Э}$  ( $\sim 400 \text{ А/м}$ ), которое будет воздействовать на исследуемые ферриты в измерительной ячейке. Изменяющимися факторами, которые будут влиять на точку Кюри, будут скорости нагрева и охлаждения, а также атмосфера. В данной работе режимы нагрева и охлаждения: 10, 20, 50 К/мин. Атмосфера, в которой будет находиться исследуемый объект: воздух, азот. Схема проведения эксперимента показан на рисунке 9.

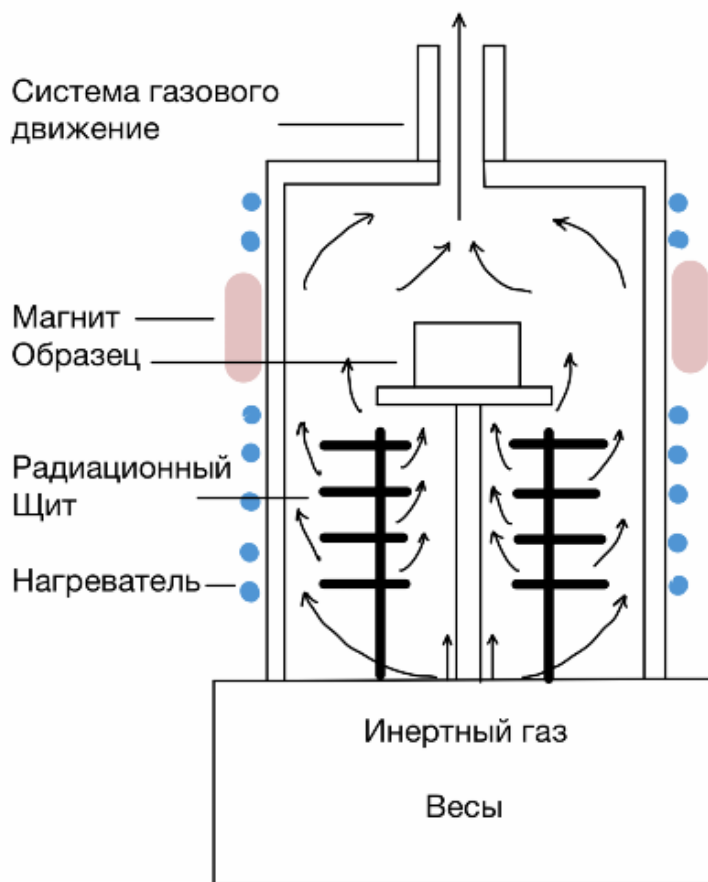


Рисунок 9 – Схема термомагнитометрических измерений

Для того, чтобы иметь представление, какой результат необходимо получить, на рисунке 10 показана ТГ кривая при нагревании образца в термическом анализаторе. Как видно из рисунка, нагрев образец до определенной температуры, можно зафиксировать изменение его массы, что говорит о переходе ферромагнетик-парамагнетик или точке Кюри.

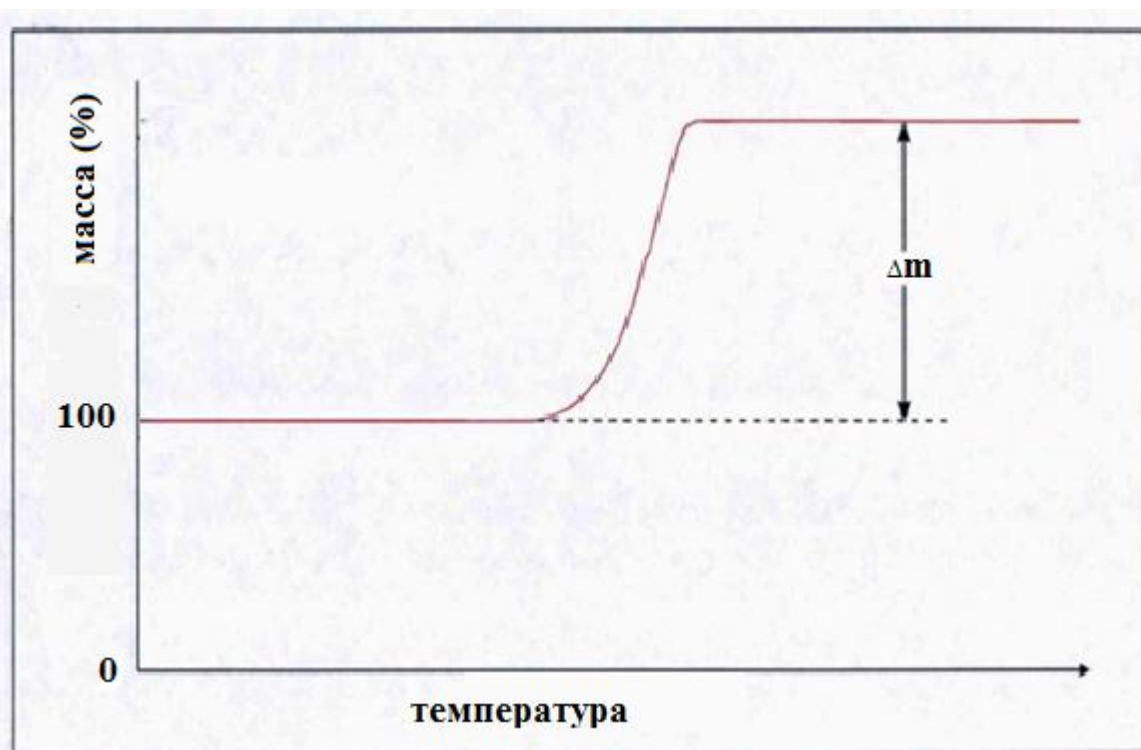


Рисунок 10 – Весовой скачок при термомагнитометрическом анализе

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

Разработка НИ производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в исследовании контроля температуры Кюри в замещенных ферритах с помощью магнитометрического анализа. Для выполнения контроля используется термоанализатор STA 449 C Jupiter.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки НИ;
2. Осуществить планирование этапов выполнения исследования;
3. Рассчитать бюджет затрат на исследования;
4. Произвести оценку научно-технического уровня исследования и оценку рисков.

Применение феррита с четко известной температурой Кюри позволяет разработчику в сфере электронных и радиотехнических устройств трезво оценивать температурные диапазоны, в которых его приборы могут работать и не потерять магнитные свойства.

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

### **4.1.1 Анализ конкурентных технических решений**

Главным потребителем ферритов является радиоэлектроника.

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.д.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Термоанализатор STA 449 C Jupiter с профильным ПО Proteus Analysis – прибор вместе с программным обеспечением от немецкого производителя. В состав системы входит: термоанализатор (термовесы, корпус анализатора,



защитная трубка, радиационный экран, прободержатель, печь, подъемное устройство), компьютер.

Достоинства: высокая информативность результатов за счет обработки данных в профилированном программном обеспечении, быстрота исследования ферритов, возможность работы на слабом ПК.

Недостатки: большие габариты установки.

Для определения температуры Кюри используют различные методы, для сравнения рассмотрим метод электромагнитной индукции, метод Зилова-Ренкина и, используемый в работе, термомагнитометрический метод.

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

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>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Безопасность	0,04	5	5	5	0,2	0,2	0,2
3. Соответствие заявленным требованиям	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
4. Функциональность	0,02	5	4	4	0,1	0,08	0,08
5. Качество интеллектуального интерфейса	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Цена	0,2	5	4	3	1	0,8	0,6
2. Конкурентоспособность продукта	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
3. Уровень проникновения на рынок	0,1	4	5	4	0,4	0,5	0,4
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	4	4	0,45	0,36	0,36

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
5. Финансирование научной разработки	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
6. Многократное использование ограниченных средств	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
7. Обеспечение занятости	0,04	5	5	4	0,2	0,2	0,16
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>59</b>	<b>52</b>	<b>47</b>	<b>4,65</b>	<b>3,99</b>	<b>3,57</b>

Ф – магнитометрический метод, К1 – метод электромагнитной индукции, К2 – метод Зилова-Ренкина.

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в табл. 1, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

#### 4.1.2 SWOT-анализ

SWOT анализ — один из самых эффективных инструментов в стратегическом менеджменте. Сущность SWOT анализа заключается в анализе

внутренних и внешних факторов компании, оценке рисков и конкурентоспособности товара в отрасли.

В данном разделе необходимо рассмотреть SWOT-анализ НТИ, который позволяет оценить факторы влияния, способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. В таблице 2 описаны сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы реализации НТИ, которые могут появиться в его внешней среде.

Составление матрицы на первом этапе SWOT-анализа.

Таблица 4 – Матрица SWOT-анализа

<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
С1. Исследование ферритов многокомпонентного состава	Сл1. Исследование можно применить только к ферритовым материалам
С2. Исследование ферритов с помощью температуры Кюри	Сл2. Отсутствие погрешности измерения
С3. Возможность более качественного проведение контроля фазового состава	Сл3. При нагреве до температуры Кюри объект изменяется по структуре, поэтому метод относится к разрушающему контролю
С4. Чувствительность метода до 0,5 вес % фазового состава исследуемого объекта	
С5. Более долгое использования	
С6. Наличие бюджетного финансирования.	
С7. Полнопрофильный анализ с использованием специализированного программного комплекса Proteus Analysis	
<b>Возможности</b>	<b>Угрозы</b>
В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ	У1. Отсутствие нужды на новые технологии производства

В2. Появление новых продуктов	У2. Появления конкуренций в технологии производства
В3. Исправление ошибок для будущих измерений температур Кюри	У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции
	У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надёжность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 5 – 8:

Таблица 5 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта								
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5	С6	С7
	В1	+	+	-	-	-	-	+
	В2	+	+	-	-	+	+	+
	В3	+	+	+	-	+	+	+

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

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

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта								
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4	С5	С6	С7
	У1	+	+	+	-	+	+	+
	У2	-	-	-	-	+	-	-

	У3	+	+	+	-	-	+	+
	У4	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	-
	У2	+	-	+
	У3	+	-	-
	У4	-	+	-

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая таблица SWOT-анализа, которая приводится в работе (табл. 8)

Таблица 9 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Исследование ферритов многокомпонентного состава</p> <p>С2. Исследование ферритов с помощью температуры Кюри</p> <p>С3. Возможность более качественного проведение контроля фазового состава</p> <p>С4. Чувствительность метода до 0,5 вес % фазового состава исследуемого объекта</p> <p>С5. Более долгое использования</p> <p>С6. Наличие бюджетного финансирования.</p> <p>С7. Полнопрофильный анализ с использованием специализированного программного комплекса Proteus Analysis</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Исследование возможно проводить только на ферритовых материалах</p> <p>Сл2. Отсутствие погрешности измерения</p> <p>Сл3. При нагреве до температуры Кюри объект изменяется по структуре, поэтому метод относится к разрушающему контролю</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Появление новых продуктов</p>	<p>Наилучший исход событий - это распространение метода в другие сферы промышленности, что позволит увеличить спрос и получать дополнительные</p>	<p>Главная проблема является достаточного финансирования для введения новых технологий в используемый метод.</p>

В3. Исправление ошибок для будущих измерений температур Кюри	ресурсы для усовершенствования метода.	
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие нужды на новые технологии производства У2. Появления конкурентов в технологии производства У3. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства	Все сильные стороны проекта, а также специфика работы компенсируют угрозы, которые существуют из вне. Так как работа является студенческим проектом и не носит большого коммерческого характера.	Для устранения всех угроз и слабых сторон, необходимо продумать распространение применения ферритов, а, следовательно, рассматриваемой технологии контроля.

Вывод по SWOT-анализу: в ходе анализа были рассмотрены все сильные и слабые стороны научного проекта, а также разъяснены все его последствия. Как позитивные, так и негативные – возможности и угрозы. Согласно анализу, проведение дальнейших исследований и открытие новых перспектив, по усовершенствованию установки и сотрудничеству с научными исследовательскими центрами могут способствовать выше перечисленным сильным сторонам НИП.

Основными рекомендациями по направлению развития исследования являются:

- Усовершенствование взаимодействия между различными подразделениями предприятия, четкое распределение ответственности и полномочий на каждый вид деятельности, оценивание понимания сотрудников своих задач и заинтересованности в общем результате работы;
- Стимулирование развития работ по улучшению качества, систематическое совершенствование методов и средств обеспечения и контроля качества, стимулирование научно-практической деятельности;
- Расширение области применения ферритов.

## 4.2 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, лаборант

		по теме	
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для экспериментов	Лаборант, дипломник
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Лаборант, дипломник
Обобщение и оценка результатов	7	Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	Лаборант, дипломник
Оформления отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Руководитель, лаборант, дипломник

#### 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  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (4)$$

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

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

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



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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (5)$$

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

$t_{ожи}$  – 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**

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

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переводится в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (6)$$

где  $T_{ki}$  – 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:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{кал}} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$  – количество праздничных дней в году.

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{\text{ки}}$  округляется до целого числа. Все рассчитанные значения сводится в таблицу 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители			Длительность работ в рабочих днях, $T_{\text{pi}}$			Длительность работ в календарных днях, $T_{\text{ki}}$		
	$t_{\text{min}}$ , чел-дни			$t_{\text{max}}$ , чел-дни			$t_{\text{ож}}$ , чел-дни											
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3			
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	3	3	3	1,8	1,8	1,8	Руковод.			2	2	2	3	3	3
Подбор и изучение материала в по теме	5	5	5	9	9	9	6,6	6,6	6,6	Дипл.			7	7	7	10	10	10
Выбор направления исследований	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8	Руковод.			5	5	5	7	7	7
Календарное планирование работ по теме	2	2	2	4	4	4	2,8	2,8	2,8	Руковод. Лабор.			2	2	2	3	3	3




Подготовка образцов для экспериментов	5	5	7	10	10	15	7	7	10,2	Лабор. Дипл.	4	4	6	6	6	9
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	10	10	15	10	15	25	12	12	19	Лабор. Дипл.	6	6	10	9	9	15
Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	8	5	8	10	10	13	8,8	7	10	Лабор. Дипл.	5	4	5	7	6	7
Составление пояснительной записки	5	10	15	7	13	25	5,8	11,2	19	Руковод. Лабор. Дипл.	2	4	7	3	6	10

На основе таблицы 9 строится план график (таблица 10).

Таблица 12 – Календарный план график проведения НИР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дни	Продолжительность выполнения работ												
				Фев.		Март			Апрель							
				2	3	1	2	3	1	2	3					
1	Составление ТЗ	Руковод.	3	■												
2	Изучение материалов	Дипл.	10		□											
3	Выбор направления	Руковод.	7			■										
4	Планирование работ	Руковод. Лабор.	3				■									
5	Подготовка образцов	Лабор. Дипл.	9					□								

6	Проведение эксперимента в	Лабор. Дипл.	15							
7	Расшифровка данных	Лабор. Дипл.	7							
8	Пояснительная записка	Руковод. Лабор. Дипл.	10							

 - руководитель, 
  - дипломник, 
  - лаборант

### 4.3 Бюджет научно-технического исследования

#### 4.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и

для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i + N_{расхi}, \quad (8)$$

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, заносятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы ( $Z_M$ ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Феррит	Кг.	1	1,5	2	6000	6800	8000	6900	7820	9200
Итого								6900	7820	9200

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры,

стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 12. При приобретении спецоборудования учитываются затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Рассчитаем амортизацию оборудования техники  $I_{ам}$ , по следующей формуле:

$$I_{ам} = \left( \frac{T_{исп}}{365} \right) K_{обр} \cdot H_a, \quad (9)$$

где  $T_{исп}$  – время использования оборудования (дн);

365 дней – количество дней в году;

$K_{обр}$  – стоимость оборудования (руб);

$H_a$  – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{сс}}$$

где  $T_{сс}$  – срок службы оборудования (год).

Амортизация термоанализатор STA 449 C Jupiter:

$$I_{ам} = \left( \frac{120}{365} \right) \cdot 4000000 \cdot \frac{1}{30} = 43\,836 \text{ руб.}$$

Амортизация ПК:

$$I_{ам} = \left( \frac{120}{365} \right) \cdot 32500 \cdot \frac{1}{15} = 712 \text{ руб.}$$

Амортизация высокоточных весов:

$$I_{ам} = \left( \frac{120}{365} \right) \cdot 9500 \cdot \frac{1}{10} = 312 \text{ руб.}$$

Амортизация прибора для прессования:

$$I_{\text{ам}} = \left(\frac{120}{365}\right) \cdot 70000 \cdot \frac{1}{15} = 1534 \text{ руб.}$$

Таблица 12 – Расчет бюджета затрат на приобретение оборудования для научных работ с учетом амортизации

Наименование оборудования	Кол-во единиц обор-ния, шт.	Время использования, дн	Срок службы, год	Цена за ед., руб.	Амортизация оборудования за время его использования, руб.
СТА 449 С Jupiter	1	120	30	4 000 000	43 836
ПК	1	120	15	32500	712
Высокоточные весы	1	120	10	9500	312
Прибор для прессования	1	120	15	70000	1534
<b>Итого</b>					<b>46 394</b>

Таким образом, сумма калькуляции и амортизации равняется 46 394 рублей.

#### 4.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая

ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Расчет основной заработной платы сводится в табл. 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Наименование этапов	Исполнитель и по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.			Заработная плата, приходящаяся на 1 чел.-дн., тыс. руб.			Всего заработная плата по окладам, тыс. руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Составление и утверждение технического задания	Руковод.	1,8	1,8	1,8	1,46	1,46	1,46	2,63	2,63	2,63
Подбор и изучение материалов по теме	Дипломник	6,6	6,6	6,6	0,25	0,25	0,25	1,65	1,65	1,65
Выбор направления исследований	Руковод.	4,8	4,8	4,8	1,46	1,46	1,46	7	7	7
Календарное планирование работ по теме	Руковод., лаборант	2,8	2,8	2,8	2	2	2	5,6	5,6	5,6
Подготовка образцов для экспериментов	Лаборант, дипломник	7	7	10,2	0,79	0,79	0,79	6,75	5,53	7,5
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Лаборант, дипломник	12	12	19	0,79	0,79	0,79	9,5	12,5	15
Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	Лаборант, дипломник	8,8	7	10	0,79	0,79	0,79	7,95	5,53	7,9
Составление пояснительной записки	Руковод., лаборант, дипломник	5,8	11,2	19	2,25	2,25	2,25	15	22,7	38,5



<b>Итого</b>	<b>56,08</b>	<b>63,13</b>	<b>85,78</b>
--------------	--------------	--------------	--------------

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (10)$$

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

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

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = T_p \cdot Z_{\text{дн}}, \quad (11)$$

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

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

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

Средневзвешенная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (12)$$

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.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} * (1 + k_{\text{пр}} + k_d) * k_p, \quad (13)$$

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

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

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

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

Таблица 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Лаборант	Дипломник
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48	48	72
Действительный годовой фонд рабочего времени	199	199	175

Таблица 17 – расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$ , тыс. руб.	$Z_{дн}$ , тыс. руб.	$T_{р}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , тыс. руб.
Руководитель	36890	1,3	1,3	1,3	172,6	9,02	16	144,32
Лаборант	18950	1,3	0	1,3	50,9	2,66	30	79,8
Дипломник	5703	0	0	1,3	7,4	0,39	35	13,65
Итого $Z_{осн}$								237,77

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

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (14)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). На 2016 г. 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%

Таблица 18 – отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, тыс. руб		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Руководитель	144,32	158,9	175,3
Лаборант	79,8	85,4	91,1
Дипломник	13,65	16,7	18,9
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1		
Итого			
Исполнение 1	64,44		
Исполнение 2	70,73		
Исполнение 3	77,32		

#### 4.3.5 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 т.д.

Величина накладных расходов определяется по формуле 15:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5)k_{\text{нр}} \quad (15)$$

Где:

$k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

#### 4.3.6 Бюджетная стоимость НИР

Группировка затрат по статьям представляется в таблице 17:

Таблица 19 – Группировка затрат по статьям.

Статьи						
1	2	3	5	6	7	8
Материалы, руб	Амортизация, руб	Основная заработная плата, руб	Отчисления на социальные нужды, руб	Итого без накладных расходов, руб	Накладные расходы, руб	Стоимость бюджета, руб
6900	46 394	237 770	64 440	355 464	56 874	412 338

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

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

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

*Интегральный финансовый показатель разработки* определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (16)$$

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

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

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

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \quad (17)$$

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

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

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

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
1. Помехоустойчивость	0,15	5	4	5
2. Надежность	0,15	5	5	4
3. Безопасность	0,15	5	4	4
4. Простота эксплуатации	0,1	4	5	5
5. Конкурентоспособность	0,3	5	4	3
6. Цена	0,05	4	4	4
7. Энергосбережение	0,1	4	4	4

<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>32</b>	<b>30</b>	<b>29</b>
--------------	----------	-----------	-----------	-----------

$$I_{p1} = 5 * 0,15 + 5 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,1 + 5 * 0,3 + 4 * 0,05 + 4 * 0,1 = 4,75$$

$$I_{p2} = 4 * 0,15 + 5 * 0,15 + 4 * 0,15 + 5 * 0,1 + 4 * 0,3 + 4 * 0,05 + 4 * 0,1 = 4,25$$

$$I_{p3} = 5 * 0,15 + 4 * 0,15 + 4 * 0,15 + 5 * 0,1 + 3 * 0,3 + 4 * 0,05 + 4 * 0,1 = 3,95$$

*Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки* определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p1}}{I_{финр\ 1}}, I_{исп2} = \frac{I_{p2}}{I_{финр\ 2}} \text{ и т.д.} \quad (15)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

*Сравнительная эффективность проекта* ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (16)$$

Таблица 19 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,976	0,992	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,75	4,25	3,95
Интегральный показатель эффективности	4,87	4,28	3,95
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,14/1,23	0,88/1,08	0,81/0,92

Проведя расчет ресурсосбережения и ресурсоэффективности и сравнив различные исполнения, можно сделать вывод, что исполнение № 1 является наилучшим вариантом.