

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
Отделение школы Контроля и диагностики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Методы контроля магнитной проницаемости ферритовой керамики</b>
УДК <u>620.179.14:666.65:537.621.31</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Ершов Алексей Валерьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник ПНИЛ ЭДиП	Малышев Андрей Владимирович	кандидат физ.-мат. наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	кандидат исторических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Юлия Владимировна	кандидат технических наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	кандидат технических наук		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК- 1, ОПК-3, ПК-12, ПК-16, ПК-17, ПК-18, ПК-22), ), СУОС ТПУ (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
Р2	Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОПК-1, ПК-6, ПК -8, ПК-16, ПК-18, ПК-19, ПК-20), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
Р3	Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-4, ПК-17, ПК-19), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.158

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса)
Р4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2 , ПК-1, ПК-2 , ПК-15, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1), Критерий 5 АИОР (п 1.1, п.1.2, п.1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
Р5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-9 , ПК- 11, ПК-17), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п.1.3, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник)
Р6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-18, ПК-20, ПК-21, ПК-22), СУОС ТПУ (УК-1), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.3, п. 1.4, п.1.5, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		конструкторским разработкам)
Р7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8, ПК-10. ПК-11, ПК-12, ПК-14, ПК-21), CDIO Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5. 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования)

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

Школа Неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
 Отделение школы Контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
Вавилова Г.В.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме: Магистерской диссертации

Студенту:

Группа 1БМ6А	ФИО Ершову Алексею Валерьевичу
-----------------	-----------------------------------

Тема работы:

<b>Методы контроля магнитной проницаемости ферритовой керамики</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.11.2017, № 9493/с
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Порошок феррита марки ЗСЧ18
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор литературы 2. Экспериментальная установка и используемое диагностическое оборудование 3. Экспериментальные результаты и их обсуждение 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2010
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Данков Артем Георгиевич., доцент отделения социально-гуманитарных наук
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна, доцент отделения контроля и диагностики
Иностранный язык	Демьяненко Наталия Владимировна, старший преподаватель отделения иностранных языков
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
2 Экспериментальная часть., 2.1 Методика подготовки образцов., 2.2 Термическое спекание., 2.3 Измерение температурной зависимости начальной магнитной проницаемости., 2.4 Методика измерения плотности. 2 Experimental., 2.1 Sample preparation., 2.2 Thermal sintering., 2.3 Measurement of the temperature dependence of initial permeability., 2.4 Method.	

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший научный сотрудник ПНИЛ ЭДиП	Мальшев Андрей Владимирович	кандидат физ.-мат. наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Ершов Алексей Валерьевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 107 с., 23 рис., 18 табл., 26 источников.

Ключевые слова: феррит, дефектное состояние, сканирующая электронная микроскопия, магнитная проницаемость, пористость.

Объектом исследования является ферритовая керамика.

Цель работы:

Разработка метода оценки дефектного состояния ферритовой керамики на основе температурной зависимости начальной магнитной проницаемости.

Методология проведения исследования и аппаратура: синтез феррита марки ЗСЧ18 осуществлялся в заводских условиях, компакты в виде таблеток и тороидов были изготовлены с использованием пресс-форм из нержавеющей стали и одностороннего холодного прессования на прессе гидравлическом ручном ПГр-10, термическое спекание производилось в печи сопротивления типа «ХимЛаб» со встроенным терморегулятором ТП-403, Измерение начальной магнитной проницаемости проводилось мостовым методом с использованием автоматического моста LCR-819 (цифрового измерителя  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ) и специальной измерительной ячейки со встроенным нагревателем, питание терморегулятора подавали с трансформатора ЛАТР, при помощи вольтметра В7-78/1, который включен в режиме термopара, снимаем температуру, данные с которого передаются на ПК, исследование микроструктуры образца феррита – при помощи сканирующего электронного микроскопа ТМ-3000.

В процессе исследования проводились: прессование образцов из порошка феррита марки ЗСЧ18, спекание на воздухе с выдержкой и естественным охлаждением, определение плотности, снятие температурной зависимости начальной магнитной проницаемости. Вычисления и построение графиков проводили в пакете Origin 8.5.

В результате исследования будет разработан метод оценки дефектного состояния ферритовой керамики на основе температурной зависимости начальной магнитной проницаемости.



## Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.1.005–88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**ферриты:** Химические соединения оксида железа  $Fe_2O_3$  с оксидами других металлов.

**ферриты-шпинели:** Ферриты, которые имеют такую же структуру, как и минерал шпинели с общей формулой  $MeFe_2O_4$ , где  $Me - Ni^{2+}, Co^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Mg^{2+}, Li^{1+}, Cu^{2+}$ .

**метод Брюнера, Эммета и Теллера:** Один из методов определения удельной поверхности, относящийся к молекулярным теориям, которые рассматривают формирование адсорбированного слоя.

**сканирующая электронная микроскопия:** Метод представляет собой исследование поверхности образца тонко сфокусированным пучком электронов, который называется электронным зондом.

**лазерная дифракция:** Метод определения размеров частиц, который основан на том, что регистрируются интенсивности рассеянного света от этих частиц.

**магнитная индукция В, Тл:** векторная величина, характеризующая магнитное поле и определяющая силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля.

**напряженность магнитного поля  $H$ , А/м:** Векторная величина, равная геометрической разности магнитной индукции, деленной на магнитную постоянную, и намагниченности.

**точка Кюри  $\Theta$ , °С:** Критическая температура, выше которой ферромагнетик становится парамагнетиком.

**начальная магнитная проницаемость  $\mu_n$ :** Значение магнитной проницаемости по начальной или основной кривой намагничивания по индукции при стремлении напряженности магнитного поля к нуля, деленное на магнитную постоянную.

**микроскопия:** Изучение объектов с использованием микроскопа.

**пористость:** Доля объема пор в общем объеме пористого тела

**открытая пористость:** Это отношение объема всех открытых пор тела (заполняемых водой при кипячении) ко всему объему материала, включая объем всех пор. Величину обозначают через  $P_k(P_o)$  и выражают в %.

**закрытая пористость:** Это отношение объема всех замкнутых пор тела к его объему, включая объем всех пор; обозначают ее через  $P_z$  и выражают в %.

**компактирование:** Прессование под высоким давлением, уплотнение за счёт устранения внутренних пустот.

**эффект Гопкинсона:** Одно из свойств ферромагнетиков, заключающееся в том, что при нагреве ферромагнетика до температуры, близкой к точке Кюри, его магнитная восприимчивость усиливается за счёт снижения трения ферромагнитных доменов, облегчается поворот ферромагнитных доменов во внешнем магнитном поле.

В данной работе использованы следующие сокращения:

СЭМ – сканирующая электронная микроскопия, сканирующий электронный микроскоп;

НТИ – научно-техническое исследование.

МКС – микроскопия

МИ – магнитные измерения

## Оглавление

Введение	16
1 Обзор литературы	18
1.1 Ферриты	18
1.2 Виды дефектов ферритовых материалов	23
1.3 Методы определения магнитных характеристик ферритов и магнитодиэлектриков	24
1.4 Сканирующая электронная микроскопия	28
1.5 Методы определения плотности	30
1.6 Микроскопия	31
2 Экспериментальная часть	33
2.1 Методика подготовки образцов	33
2.2 Термическое спекание	36
2.3 Измерение температурной зависимости начальной магнитной проницаемости	37
2.4 Методика измерения плотности	41
3 Экспериментальные результаты	43
3.1 Микроструктура, магнитные и физические свойства ферритовой керамики	43
3.2 Оценка дефектного состояния ферритовой керамики по результатам математической обработки температурных зависимостей начальной магнитной проницаемости	46
3.3 Влияние закалки образцов ферритовой керамики на ее дефектное состояние	51
3.4 Выводы по разделу	53
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
	13

4.1 Введение	55
4.2 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	55
4.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	56
4.4 SWOT – анализ	59
4.5 Планирование комплекса работ на создание проекта	64
4.6 Бюджет научного исследования	68
4.6.1 Расчет основной заработной платы	69
4.6.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	71
4.7 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	71
4.8 Накладные расходы	72
4.9 Выводы по разделу	73
5 Социальная ответственность	75
5.1 Введение	75
5.2 Производственная безопасность	75
5.2.1 Анализ выявленных вредных факторов, возникающих при изготовлении образцов феррита	77
5.2.2 Анализ опасных факторов производственной среды	81
5.3 Экологическая безопасность	83
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	84
5.5 Правовые и организационные мероприятия обеспечения безопасности	86
5.5.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства	86

5.5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	87
Заключение	89
Список публикаций студента	90
Список использованных источников	91
Приложение А	94

## Введение

Ферриты являются широко распространенными неметаллическими твердыми магнитными материалами, представляющими собой химические соединения оксида железа  $Fe_2O_3$  с оксидами переходных металлов. Одной из самых обширных областей применения ферритов является разработка и производство СВЧ техники, современных электронных и радиотехнических устройств. Так, в настоящее время СВЧ ферриты широко используются в качестве магнитных материалов для фазовращателей, циркуляторов, элементов фазированных решеток, сердечников бытовой и специальной радиоэлектронной аппаратуры и др. Такая популярность ферритов обусловлена высокими электромагнитными параметрами, простотой технологии изготовления ферритов, позволяющей получать материалы с различными заданными параметрами. Однако, не смотря на простоту классической керамической технологии изготовления ферритов, существует высокая вероятность появления побочных фазовых включений [1].

Целью данной работы являлось разработка метода оценки дефектного состояния ферритовой керамики на основе температурной зависимости магнитной проницаемости.

Актуальностью данной темы является возможность высокочувствительного контроля дефектности и качества промышленных изделий из магнитомягкой ферритовой керамики.

В настоящее время при производстве ферритовых изделий существуют различные методы контроля их дефектности, основанные на измерении тех свойств материала, которые заметно реагируют на изменение химического состава. Это методы измерения истинной теплоемкости, намагниченности насыщения и магнитной проницаемости в интервале температур включающем точку Кюри, начальной восприимчивости парапроцесса [2]. Такие методы трудоемки, избирательны к определенным видам дефектов и низко чувствительны.

СВЧ ферриты в настоящее время широко используются в качестве магнитных материалов для фазовращателей, циркуляторов, элементов фазированных решеток и других элементов СВЧ техники. В процессе их изготовления по классической керамической технологии высока вероятность остатка непрореагировавших оксидов и фаз промежуточных продуктов реакции синтеза. Такие дефекты наряду с пористостью материала обуславливают ухудшение его магнитных характеристик.

В связи с этим для изделий из ферритовой керамики при ее производстве требуется разработать современный высокочувствительный магнитный метод контроля структурного совершенства (дефектного состояния) получаемого материала. Основой такого метода могут служить измерения температурной зависимости начальной магнитной проницаемости ферритовой керамики. Такие зависимости являются одними из наиболее структурно-чувствительных и служат для определения фазовой гомогенности ферритов и определения их точки Кюри. Для оптимизации новых технологических процессов необходим оперативный контроль всей совокупности дефектов, которые влияют на магнитные параметры ферритовой керамики.

Для контроля магнитных параметров феррита на производстве широко используется метод мостовых измерений индуктивности намотанной катушки с ферритовым сердечником.

Разрабатываемый в работе метод измерения температурной зависимости начальной магнитной проницаемости служит для оценки дефектности всего объема образца, т.е. характеризует его усреднённую по объему дефектность. В добавок, у данного метода отсутствует избирательность к определенному виду дефектов.

# 1 Обзор литературы

## 1.1 Ферриты

Ферриты (лат. ferrum- железо) – обще принятое наименование сложных окислов, включающие железо и другие элементы. Большинство ферритов является ферромагнетиками и проявляет полупроводниковые или диэлектрические свойства.

Входят в состав ферритов анионы кислорода  $O^{2-}$ , образующие скелет их кристаллической решётки, в промежутках между анионами  $O^{2-}$  располагаются катионы переходных металлов и  $Fe^{3+}$ . Наиболее достоверно изучены свойства шпинелей, феррогранатов, ортоферритов и гексаферритов, различающихся по своей кристаллографической и магнитной атомной структуре [2].

К ферритам также относятся ферриты- гаусманиты ( $Mn_2O_3$ ), литиевые ферриты со структурой NaCl, ферриты Ca и Ba с орторомбической структурой.

Феррошпинели обладают кристаллической структурой шпинели благородной  $MgAl_2O_4$  и имеют общую химическую формулу  $MeOFe_2O_3$ , где Me – двухвалентный металл (Ni, Co, Fe, Mn и др.). Также к ним относятся многочисленные смешанные ферриты состава  $Me^{1-\delta}Me'\delta OFe_2O_3$ , где сумма валентностей Me и Me' равна 4.

Идеальная кристаллическая решётка феррошпинели может рассматриваться как одна из кубически плотных упаковок (Рисунки 1.1–1.4)



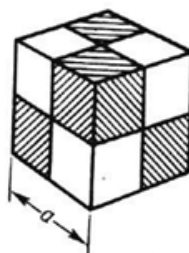


Рисунок 1.1 – Кристаллическая структура феррошпинелей, схематическое изображение элементарной ячейки шпинельной структуры, разделённой на 8 октантов

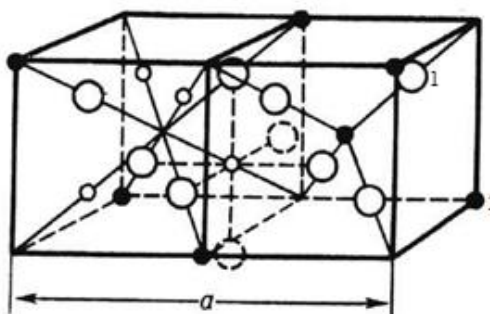


Рисунок 1.2 – Кристаллическая структура феррошпинелей, расположение ионов в смежных октантах ячейки, где 1– анионы  $O^{2-}$ , образующие остов решётки, 2– катионы в октаэдрических и тетраэдрических позициях

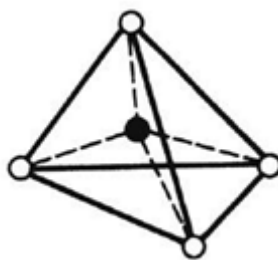


Рисунок 1.3 – Кристаллическая структура феррошпинелей, катион в тетраэдрическом окружении

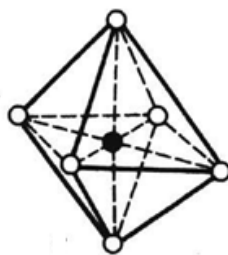


Рисунок 1.4 – Кристаллическая структура феррошпинелей, катион в октаэдрическом окружении

Элементарная ячейка представляет собой куб, который образован из 8 молекул, и состоит из 32 анионов. Вакантные узлы, занимаемые катионами, по структуре ближайшего окружения подразделяются на 6 тетраэдрические (А) и 32 октаэдрические (В) позиции. Различают нормальные, обращённые и смешанные феррошпинели. В нормальных феррошпинелях ( $ZnFe_2O_4$ ,  $CdFe_2O_4$ ) узлы В заняты ионами трёхвалентного металла. В обращённых шпинелях все катионы Me находятся в В<sup>-</sup> – местах, а трёхвалентные (Fe) распределены поровну между А<sup>-</sup> и В<sup>-</sup> местами. Порядок распределения катионов произволен в смешанных ферритах [2].

Ферриты со структурой нормальной шпинели проявляют антиферромагнитными свойствами, а со структурой обращённой шпинели – ферромагнитными свойствами.

Обменное взаимодействие между катионами осуществляется косвенно и, как правило, отрицательно. Наиболее сильными обычно являются обменные взаимодействия между катионами, находящимися в позициях с различным кристаллографическим окружением.

В частично или целиком обращённых феррошпинелях катионы, расположенные в узлах А и В, сформируют две магнитные подрешётки (ионы Me и  $Fe^{3+}$  в узлах А также сформируют две подрешётки, у которых магнитные моменты ориентированы параллельно друг другу); намагниченности подрешёток А и В направлены в противоположные стороны, исходя из этого

результатирующая намагниченность обращённых феррошпинелей определяется магнитными моментами двухвалентных ионов.

Феррогранаты имеют одну общую химическую формулу  $Me_3Fe_5O_{12}$ , где  $Me^-$  трёхвалентный 4f ион либо Y, Bi, Ca и др. Кристаллическая структура феррогранатов очень сложна и изоморфна структуре природного минерала граната  $CaAl_3(SiO)_4$ . В элементарную ячейку, в форме куба, входит 8 формульных единиц. По структуре ближайшего окружения наряду с тетраэдрическими (d) и октаэдрическими (a) местами имеются додекаэдрические (c) места, которые заняты  $Me^-$  ионами и окружённые 8 анионами  $O^{2-}$ . Из 40 ионов  $Fe^{3+}$ , находящихся в элементарной ячейке, 16 ионов a – места и 24 иона занимают d – места. Ниже точки Кюри, которая для всех феррогранатов лежит в пределах  $T=563\pm 15K$  в них возникает ферромагнетизм. Магнитная структура феррогранатов состоит из 20 d-и 12 f -магнитных подрешёток. Как и в феррошпинелях, наиболее интенсивным является косвенное обменное взаимодействие между ионами  $Fe^{3+}$  в a- и d -местах, это значит, степени определяющее значение точки Кюри. В полях до 102 Тл все железные подрешётки можно анализировать как одну с результирующим магнитным моментом, равным разности магнитных моментов d- подрешёток. Магнитные моменты f –подрешёток ориентированы антипараллельно результирующему магнитному моменту d –подрешёток и образуют зонтичную структуру (кроме граната Gd). Все гранаты, содержащие тяжёлые редкоземельные ионы, имеют точку магнитной компенсации, по достижении которой результирующая намагниченность равна нулю. В них наблюдаются спонтанные и индуцированные внешним магнитным полем спин-переориентационные переходы.

Ортоферриты обладают кристаллической структурой перовскита  $CaTiO_3$ . Среди большого ряда ортоферритов выделяются редкоземельные ортоферриты, ортохромиты и т.д. состава  $RMeO_3$ , где R - Tb, Dy и т.д., Me - Fe, Cr, Al. Элементарная ячейка ортоферрита включает в себя 4 формульные единицы (Рисунок 1.5). При не очень низких температурах в ортоферритах

упорядочиваются только магнитные моменты ионов Fe и они являются антиферромагнетиками со слабым ферромагнетизмом. При очень низких (порядка несколько К) температурах ортоферриты становятся ферромагнетиками. В них наблюдаются спонтанные изменения ориентации оси антиферромагнетизма, существует точка магнитной компенсации слабых ферромагнитных моментов и т.д.

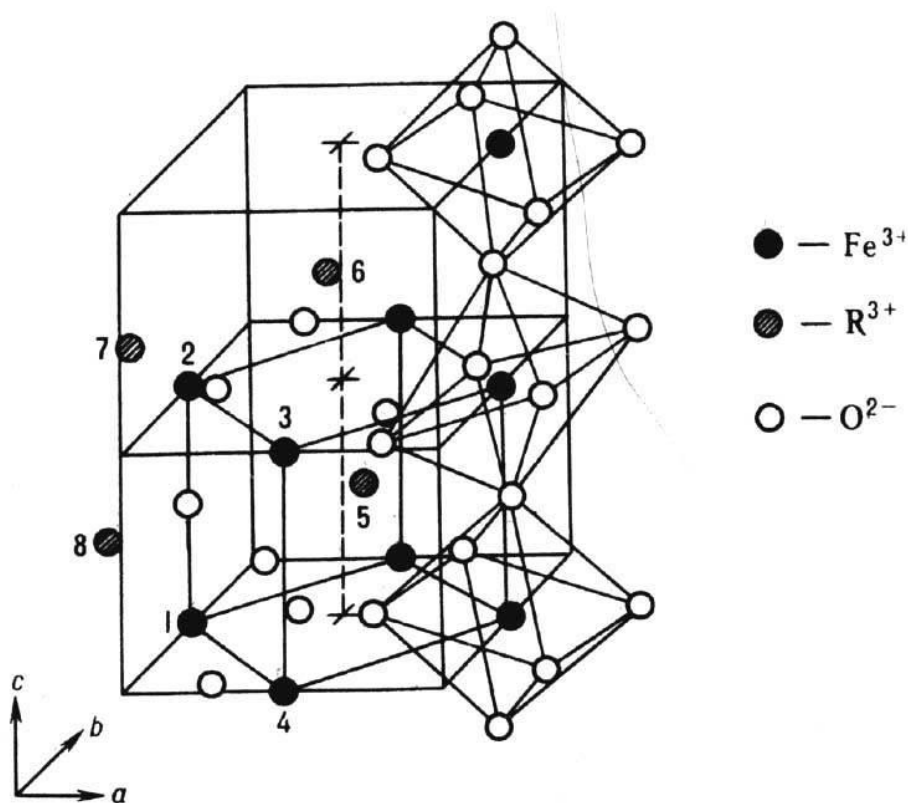


Рисунок 1.5 – Элементарная ячейка редкоземельных ортоферритов: белые кружки-анионы  $O^{2-}$ , чёрные -катионы железа, заштрихованные-катионы редкоземельных металлов. Показана структура ближайшего окружения катионов железа.

Гексаферритами называют соединения типа  $BaFe_{12}O_{19}$ ,  $Ba_2Me_2Fe_{12}O_{22}$ ,  $BaMe_2Fe_{16}O_{27}$  и др., где ионы Ba могут замещаться ионами Ca, Rb, Sr. Элементарная ячейка гексаферритов состоит из шпинельных блоков, не содержащих Ba, разделённых блоками гексагональной структуры, имеющими эти ионы. В гексаферритах наблюдаются различные типы магнитной атомной структуры: существуют одноосные и легко плоскостные

гексаферриты, а также гексаферриты, обладающие конической поверхностью лёгкого намагничивания.

Ферриты в качестве магнитных материалов широко применяются в технике, особенно в радиотехнике и радиоэлектронике – в антеннах, сердечниках радиочастотных контуров, в СВЧ-технике (вентили и циркуляторы). Большинство феррошпинелей, феррогранат иттрия (железо–иттриевый гранат) и некоторые гексаферриты используются как магнитно-мягкие материалы. Отдельные гексаферриты обладают значительной коэрцитивной силой и применяются для изготовления постоянных магнитов.

Многие феррогранаты имеют ряд уникальных свойств; например, у железо–итриевого граната ширина линии магнитного резонанса составляет размер порядка  $10^{-2}$ Тл, так что добротность резонатора может достигать несколько тысяч. Эпитаксиальные плёнки феррогранатов являются одними из наилучших материалов для устройств с цилиндрическими магнитными доменами; отдельные из них прозрачные и обладают большим углом фарадеевского вращения. Феррогранаты при низких температурах обладают большой магнитной анизотропией, обусловленной редкоземельными ионами, и значительной магнитострикцией; в них удаётся возбудить бегущие спиновые волны и наблюдать рассеяние света на спиновых волнах.

## **1.2 Виды дефектов ферритовых материалов**

Гексаферритами называют соединения типа  $BaFe_{12}O_{19}$ ,  $Ba_2Me_2Fe_{12}O_{22}$ ,  $BaMe_2Fe_{16}O_{27}$  и др., где ионы Ba могут замещаться ионами Ca, Rb, Sr. Элементарная ячейка гексаферритов состоит из шпинельных блоков, не содержащих Ba, разделённых блоками гексагональной структуры, имеющими эти ионы. В гексаферритах наблюдаются различные типы магнитной атомной структуры: существуют одноосные и легко плоскостные гексаферриты, а также гексаферриты, обладающие конической поверхностью лёгкого намагничивания.

Ферриты в качестве магнитных материалов широко применяются в технике, особенно в радиотехнике и радиоэлектронике – в антеннах, сердечниках радиочастотных контуров, в СВЧ-технике (вентили и циркуляторы). Большинство феррошпинелей, феррогранат иттрия (железо–иттриевый гранат) и некоторые гексаферриты используются как магнитно-мягкие материалы. Отдельные гексаферриты обладают значительной коэрцитивной силой и применяются для изготовления постоянных магнитов.

Многие феррогранаты имеют ряд уникальных свойств; например, у железо–иттриевого граната ширина линии магнитного резонанса составляет размер порядка  $10^{-2}$ Тл, так что добротность резонатора может достигать несколько тысяч. Эпитаксиальные плёнки феррогранатов являются одними из наилучших материалов для устройств с цилиндрическими магнитными доменами; отдельные из них прозрачные и обладают большим углом фарадеевского вращения. Феррогранаты при низких температурах обладают большой магнитной анизотропией, обусловленной редкоземельными ионами, и значительной магнитострикцией; в них удаётся возбудить бегущие спиновые волны и наблюдать рассеяние света на спиновых волнах.

### **1.3 Методы определения магнитных характеристик ферритов и магнитодиэлектриков**

Магнитные измерения (МИ), это измерение характеристик магнитного поля или магнитных свойств материалов. Измеренными характеристиками магнитного поля являются: вектор магнитной индукции  $B$ , напряженность поля  $H$ , поток вектора индукции (магнитный поток), градиент магнитного поля и другие. Магнитное состояние вещества определяется: намагниченностью  $J$  - величиной полученного магнитного момента, связанной с единичным объемом (или массой) вещества; магнитная восприимчивость  $\chi$ , магнитная проницаемость  $\mu$ , магнитная структура. Наиболее важными характеристиками обычных магнитных материалов - ферромагнитными материалами являются:

индукционные кривые  $I_p(H)$  и намагниченность  $J(N)$ , то есть согласно  $J$  и интенсивность поля  $H$ , коэрцитивная сила, потеря энергии на переменную намагниченность, максимальную магнитную энергию на единицу объема (или массу), размагничивающий фактор ферромагнитного образца.

Для измерения магнитных свойств использовались следующие методы: баллистическая, магнитная, электродинамическая, индукционная, пондеромоторная, мостовая, потенциометрическая, батлероя, калориметрическая, нейтронная дифракция и резонанс.

Баллистический метод в ближайшее время был одним из наиболее популярных методов для определения магнитных характеристик ферромагнитных материалов [4, 5, 6]. Основная его идея заключается в измерении количества электричества, протекающего через витки катушки намотанных вокруг образца при изменении магнитного тока. При помощи данного метода можно определить основную индукционную кривую, петлю гистерезиса, кривую намагничивания, все виды проницаемости и размагничивающего фактора ферромагнитных образцов [6,7]. Недостатком метода является то, что требует временные затраты времени и практически не поддается автоматизации.

Магнитометрический метод заключается во влиянии исследуемого намагниченного образца на размещенную вблизи магнитную стрелку. Углом отклонения магнитной стрелки от исходного положения определяется магнитный момент исследуемого объекта, по которому можно вычислить  $J$ ,  $B$  и  $H$ . Следовательно, данный метод позволяет находить зависимости в  $B(H)$  и  $J(H)$ , петлю гистерезиса и магнитную восприимчивость. Из-за высокой чувствительности данный метод широко применяется для измерения геомагнитных полей и решения ряда метрологических задач, но минус его заключается в том что его нельзя автоматизировать [6].

Реже используется электродинамический метод для нахождения характеристик магнитного поля, при помощи изменения угла поворота катушки, из-за действующего магнитного поля намагниченного образца, с

током. При помощи данного метода, возможно, определить основную кривую и петлю магнитного гистерезиса. Преимущества метода включают возможность калибровки шкалы инструмента непосредственно в единицах измеренного значения индукции или напряженности поля [8].

Для изучения ферромагнитных материалов в широком интервале значений  $N$  используется индукционный и пондеромоторный метод. Метод индукции позволяет определить кривые  $I_n(H)$ ,  $J(H)$ , петлю гистерезиса и различные типы проницаемости. Он заключается в измерении возбужденной во вторичной обмотке индукции ЭДС, за счет проходящего через первичную обмотку образца намагничивающего переменного тока. Данный метод также может быть употреблён для измерения намагниченности в сильных импульсных магнитных полях и магнитной восприимчивости диамагнитных и парамагнитных веществ в радиочастотном диапазоне.

Суть пондеромоторного метода заключается в измерении механической силы, которая действует на образец в неоднородном магнитном поле. Этот метод особенно широко используется при нахождении магнитных свойств слабомагнитных веществ. Метод также используется для измерения намагниченности и магнитной восприимчивости.

Мостовые и потенциометрические методы определения магнитных характеристик в основном используются для измерений в переменном токе индуктивности в широких диапазонах частот. Данные методы заключаются в измерении параметров индуктивности  $L$  и сопротивления  $R$ , электрической цепи с проверенными ферромагнитными примерами. Они позволяют определить зависимость магнитной индукции и намагниченности от величины намагничивающего поля, коэффициент потерь и полных потерь, комплексную магнитную проницаемость и комплексного магнитного сопротивления в переменных полях, потери намагниченности.

Наиболее распространенный является ваттметрический метод измерения поскольку потеря перемагничивания является методом ваттметра, они используются в синусоидальной природе изменений во времени магнитной



индукции. В этом методе использование измерителя мощности показывает полную схему питания катушки, используемой для перемагничивания образца. Метод ваттметра стандартизирован для испытания электрических сталей. Калориметрический метод является бесспорным методом измерения потерь в ферромагнитных материалах, используемый в широких диапазонах частот. Позволяющий измерять потери при любых законах изменения интенсивности магнитного поля и магнитной индукции и в сложных условиях намагниченности. Суть этого метода заключается, в измерении потерь энергии в образцах при их намагничивании переменными магнитными полями за счет увеличения температуры образца и его окружения. Калориметрические МИ осуществляются методами смешивания, ввода тепла и потока.

Резонансный метод исследования основан на сравнении индуктивности исследуемого образца с эталоном (образцом известной индуктивности) за счет настройки схемы для измерения в резонанс или с помощью измерителя добротности на определении индуктивности с образцом.

Важную область МИ составляют замеры характеристик магнитных материалов в переменных магнитных полях повышенной и высокой частоты. Для этой цели применяют в основном ваттметровый, мостовой и резонансный методы. Измеряют обычно потери на перемагничивание, коэффициент потерь на гистерезис и вихревые токи, компоненты комплексной магнитной проницаемости. Измерения осуществляют при помощи пермеаметра, аппарата Эпштейна, феррометра и других устройств, позволяющих определять частотные характеристики материалов [9].

Есть и многие другие методы для определения магнитных характеристик, такие как магнитооптический, в импульсном режиме перемагничивания, осциллографический, метод вольтметра и амперметра и т.д., при помощи которых можно исследовать ряд важных свойств магнитных материалов.

## 1.4 Сканирующая электронная микроскопия

Метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) заключается в изучение поверхности образца электронным пучком (Рисунок 1.6) – электронным зондом. Сущность метода состоит в том, что электронный пучок делает возвратно–поступательные движения вдоль линии или, по-другому говоря, разворачивается в растр, который представляет собой набор параллельных линий близко расположенных друг к другу, вдоль которых электронный луч проходит вокруг выбранной области для исследования поверхностей.

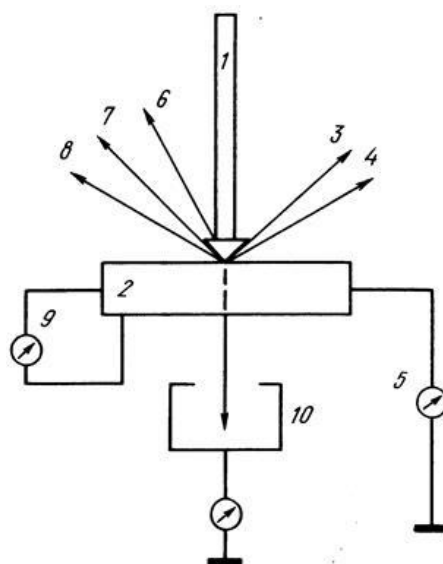


Рисунок 1.6 – Эффекты, возникающие при взаимодействии пучка электронов с веществом: 1 – электронный пучок; 2 – образец; 3 – отраженные электроны; 4 – вторичные электроны; 5 – ток поглощенных электронов; 6 – катодолуминесценция; 7 – рентгеновское излучение; 8 – оже-электроны; 9 – наведенный ток; 10 – прошедшие электроны.

В любой точке поверхности, которая подвергается облучению, совершается взаимодействие электронного пучка 1 с объектом исследования, за счет этого происходит ряд вторичных эффектов. За счет этих эффектов можно обрести различную информацию об объекте исследования. Электроны,

испускаемые веществом, принимают специальные датчики и после усиления используются для регулирования яркости электронно-лучевой трубки, которая после всего этого создает картинку на экране. Напряженность сигналов меняется при сканировании электронным зондом поверхности образца, что обеспечит контраст в картинке различных участков поверхности образца на экране электронно-лучевой трубки.

Принципиальную схему (Рисунок 1.7) можно разделить на две главные системы: электроннооптическую 1-10, которая формирует электронный зонд и производит его сканирование по поверхности образца 14; систему, предназначенную для формирования изображения 11-18.

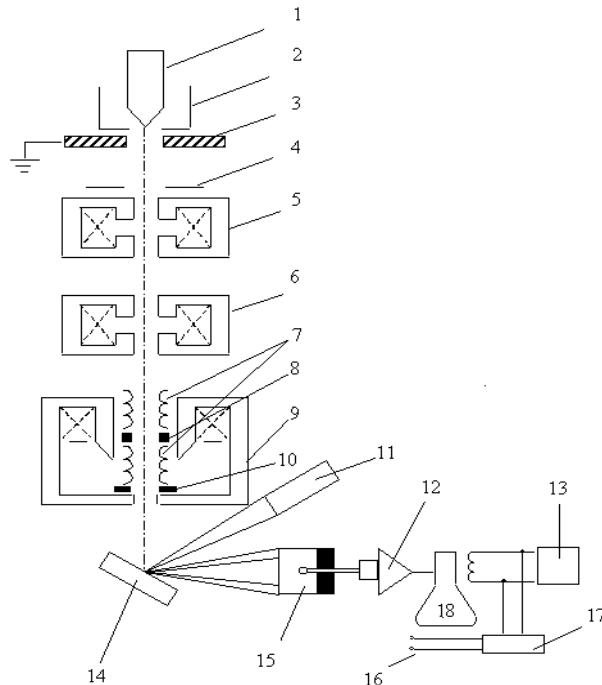


Рисунок 1.7 – Принципиальная схема сканирующего электронного микроскопа: 1 – катод; 2 – фокусирующий электрод; 3 – анод; 4 – ограничивающая диафрагма; 5 – первая конденсорная линза; 6 – вторая конденсорная линза; 7 – отклоняющие катушки; 8 – конечная линза; 9 – стигматор; 10 – диафрагма, ограничивающая размер пучка; 11 – детектор рентгеновского излучения; 12 – усилитель фотоумножителя; 13 – генераторы развертки; 14 – образец; 15 – детектор вторичных электронов; 16 – к отклоняющим катушкам; 17 – управление увеличением; 18 – электронно-лучевая трубка.

Превосходит данный микроскоп другие тем, что достигается более высокая разрешающая способность, это связано с тем, что изображение получается с помощью вторичных электронов, у которых полоса выхода ограничена небольшой областью вокруг точки падения зонда. Это преимущество разрешает тщательно изучить детально мельчайший рельеф поверхности. Также используемый микроскоп способствует обеспечению большей резкости в сочетании с большей наглядностью изображения, что в свою очередь дает возможность исследовать объекты с более развитой поверхностью.

Для данного исследования подготовка образцов вызывает трудности. Самое главное требование, которое должно соблюдаться это к образцу. Его размеры должны соответствовать размерам камеры для образцов в приборе [10].

### **1.5 Методы определения плотности**

Плотность – это один из фундаментальных параметров, описывающих физические свойства твердых материалов. Она определяется как отношение массы сухого образца к его объему(1.1):

$$d=m/Vd \quad (1.1)$$

В порометрии различают несколько видов плотности:

Объемная плотность – плотность, определяемая внешним объемом твердого образца, рассчитанная без вычета присутствующих в нем пустот (открытых и закрытых пор, трещин и щелей)

Истинная плотность – плотность, рассчитанная с вычетом всех присутствующих в твердом образце пустот, за исключением закрытых пор. Эта величина наиболее близка к реальной плотности материала.

Кажущуюся плотность – плотность, рассчитанная по количеству жидкости (например, ртути) проникающей в поры. Может отличаться от

истинной плотности, поскольку ртуть не способна проникнуть в поры размером менее 3.6 нм.

## **1.6 Микроскопия**

Микроскопия — зрительное исследование различных мелких объектов (от 0,2 до 0,0000002 мм) при помощи микроскопа (с увеличением от нескольких десятков до сотен тысяч раз) [11].

Обычный световой микроскоп используется в случаях, когда структура объекта с достаточным контрастом и хорошо видна. Световая микроскопия позволяет получить увеличенное и подвижное изображение, проводить микрофотографию и съемку, наблюдать за тем же объектом в течение длительного времени. В тех случаях, когда микроскопические объекты недостаточно контрастны, для их изучения используются специальные методы световой микроскопии.

1. Микроскопия в темном поле основана на том факте, что наименьшие частицы, находящиеся за пределами разрешающей способности микроскопа, становятся видимыми в лучах, падающих под таким большим углом, что они непосредственно не попадают в объектив. Линза получает только свет, отраженный от этих частиц; они выглядят как светящиеся точки на темном фоне.

2. Фазово-контрастная микроскопия может значительно увеличить контрастность изображения объекта. Принцип метода заключается в идентификации фазовых сдвигов световых колебаний, возникающих за счет прохождения светом через структуру с показателем преломления, отличным от коэффициента преломления окружающей среды. Фазовые сдвиги глазом непосредственно не захватываются, но в специальных структурах с фазово-контрастным микроскопом с более высоким показателем преломления (даже полностью прозрачным) оказываются темнее (или легче в зависимости от конструкции устройства), чем окружающий фон [11].

Подобного рода картина наблюдается и при так называемой амплитудно-контрастной или аноптральной микроскопии.

3. Ультрафиолетовая микроскопия, основана на способности некоторых веществ избирательно поглощать ультрафиолетовые лучи с определенной длиной волны, практически не отличается от обычной световой микроскопии и проводится с использованием микроскопов с кварцевой или отражающей (зеркальной) оптикой. Изображение просматривается на флуоресцентном экране визуально и фотографируется. Микроскопия объектов позволяет обнаруживать исследуемые вещества без использования окрашивания.

4. Флуоресцентная микроскопия дает возможность изучить как собственную флуоресценцию ряда веществ, так и вторичную флуоресценцию, появившуюся из-за окрашивания клеточных структур специальными красителями - флюорохромами. Суть метода состоит в том, что отдельные вещества при облучении светом начинают сами светиться. Синий свет или ультрафиолетовые лучи обычно используются для возбуждения флуоресценции в видимой части спектра.

## **2 Экспериментальная часть**

### **2.1 Методика подготовки образцов**

Синтез феррита марки 3СЧ18 осуществлялся в заводских условиях (НПО Вымпел) при температуре 800 °С.

Для проведения спекания образцов в лабораторных условиях в партию порошка массой 5 г. для лучшей компактируемости был добавлен раствор поливинилового спирта (ПВС) массой 0,518 г. (12% от массы навески, из них 10,8% дистиллированной воды, 1,2% сухого ПВС). Полученную массу перетерли и перемешали, просеяли 2 раза через крупное сито и 2 раза через мелкое сито для гомогенного распределения водного раствора ПВС по шихте. Далее полученную смесь оставили на сутки для достижения равновесного состояния.

С использованием пресс-форм из нержавеющей стали (Рисунок 2.1 и Рисунок 2.2) и одностороннего холодного прессования на прессе гидравлическом ручном ПГр-10 (Рисунок 2.3) под давлением 200 МПа были выполнены компакты в виде таблеток диаметром 15 мм, толщиной 2,5 мм, а также в виде тороидов (Рисунок 2.4), внешний диаметр которых составил 19 мм, внутренний 14,5 мм, высота 2,5 мм.

Термическое спекание образцов осуществлялось в лабораторной электропечи при температуре 1150 °С в течении 1 часа.



Рисунок 2.1 – Пресс-форма для таблеток

Образцы в виде тороидов служили для измерения магнитной проницаемости (индуктивности) катушек с сердечниками из исследуемой ферритовой керамики.



Рисунок 2.2 – Пресс-форма для тороидов



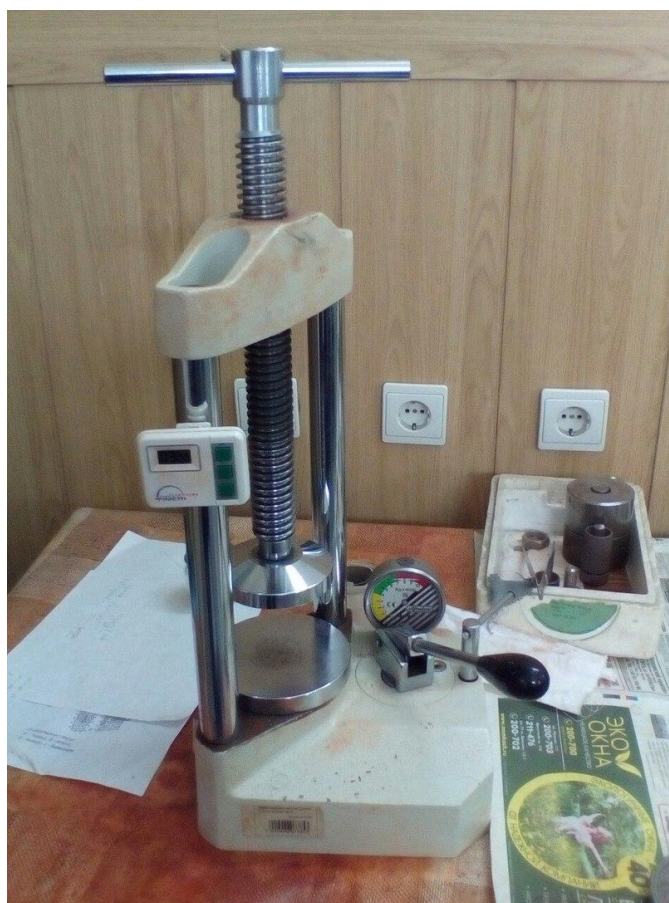


Рисунок 2.3 – Пресс гидравлический ПГр–10



Рисунок 2.4 – Феррит в форме тороида

В качестве опорных образцов, для определения дефектного состояния ферритовой керамики использовались ферриты производства ОАО «НИИ «Феррит-Домен», которые изготавливались на основе нормативной документации (НД): ОСТ 11.707.004-76. Изделия также выполнены в виде

тороидов, внешний диаметр которых составил 20,5 мм, внутренний 10,9 мм, высота 3,5 мм. Данные изделия на заводе подвергались испытаниям при комнатной температуре. Результаты испытаний представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты испытаний опорных образцов

Наименование параметров	Величина параметров	
	По НД	фактические
Намагниченность насыщения $M_s$ , А/м (Гс)	1870±170 (Гс)	1930
Ширина кривой ферромагнитного резонанса $\Delta H$ , А/см (Э) на частоте 9500 МГц, номинал	340 (Э)	200 (Э)
Эффективный коэффициент Ланде $g_{эфф}$	2,04±0,1	2,02
Действительная составляющая относительной диэлектрической проницаемости $\epsilon_r'$ на частоте 10000 МГц	16,0±1,60	16,5
Тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta_\epsilon$	$\leq 8,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
Кажущаяся плотность материала $\rho_{каж}$ , кг/м <sup>3</sup> (г/см <sup>3</sup> )	4,30±0,13 (г/см <sup>3</sup> )	4,36 (г/см <sup>3</sup> )

## 2.2 Термическое спекание

Спекание производилось в лабораторных условиях на воздухе в печи сопротивления типа «ХимЛабо» со встроенным терморегулятором ТП-403. (Рисунок 2.5). Режимы нагрева, выдержки и охлаждения задавались на программируемом терморегуляторе «Варта ТП-403». Скорость нагрева 10 град/мин. Охлаждение – естественное.



Рисунок 2.5 – Лабораторная печь сопротивления

## 2.3 Измерение температурной зависимости начальной магнитной проницаемости

Измерение начальной магнитной проницаемости проводилось мостовым методом [1] с использованием автоматического моста LCR-819 (цифрового измерителя  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ).

Для измерения температурной зависимости начальной магнитной проницаемости была собрана установка на базе автоматического моста LCR-819 (цифрового измерителя  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ) и специальной измерительной ячейки со встроенным нагревателем. Частота намагничивающего поля составляла 10 кГц. Уровень тест-сигнала 0.05 В. Блок-схема установки приведена на рисунке 2.6.

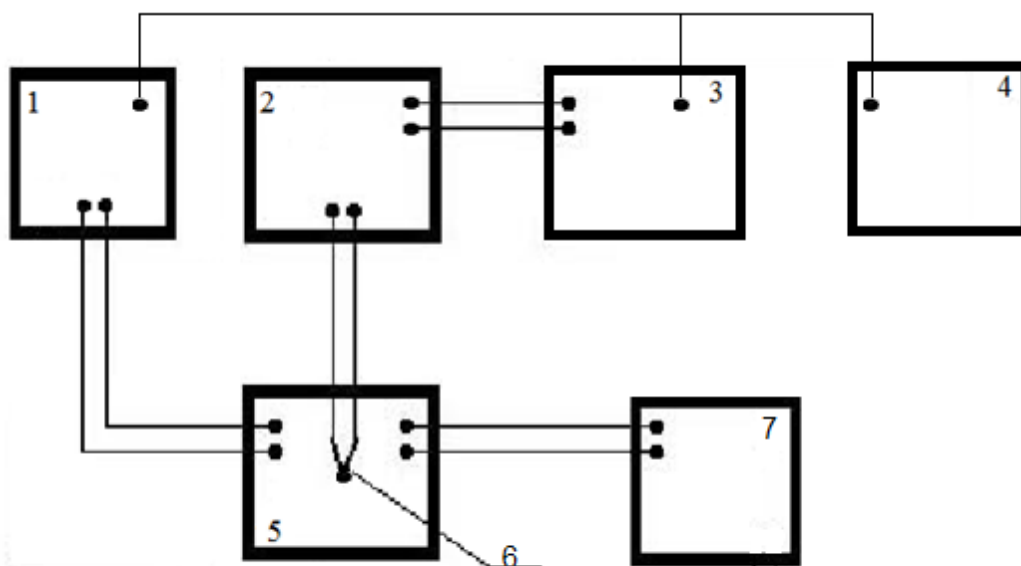


Рисунок 2.6 – Блок-схема установки для измерения  $\mu_n(T)$ :

- 1 – измеритель цифровой LCR-819; 2– терморегулятор «ВАРТА5» ТП403;
- 3 – вольтметр В7-78/1; 4-ПК; 5 – измерительная ячейка;
- 6 –термопара ХА, 7 – ЛАТР

В собранной установке использовалась нагревательная ячейка (Рисунок 2.7) оригинальной конструкции. Измерительная ячейка представляла собой цилиндр из нержавеющей стали 1. Сверху цилиндр закрывался

фторопластовой крышкой 2 с устройством для фиксации образцов 3 и термопарой 4. В крышке также имелись отверстия для вывода проводников 5 от обмотки измеряемого образца 7. В нижнюю часть цилиндра, для выравнивания температуры в зоне расположения образца, запрессовывался медный стакан 11, в донной части которого расположен нагреватель 8. Для большего повышения однородности нагрева, верхняя часть медного стакана закрывалась тепловым экраном из алюминия 6. Все элементы располагались в алюминиевом корпусе 10, на котором имеются разъемы для подключения заземляющего провода и проводов, питающих нагревательный элемент. Корпус теплоизолирован от нагревательных частей ячейки порошком из легковесного шамотного кирпича 9[3].

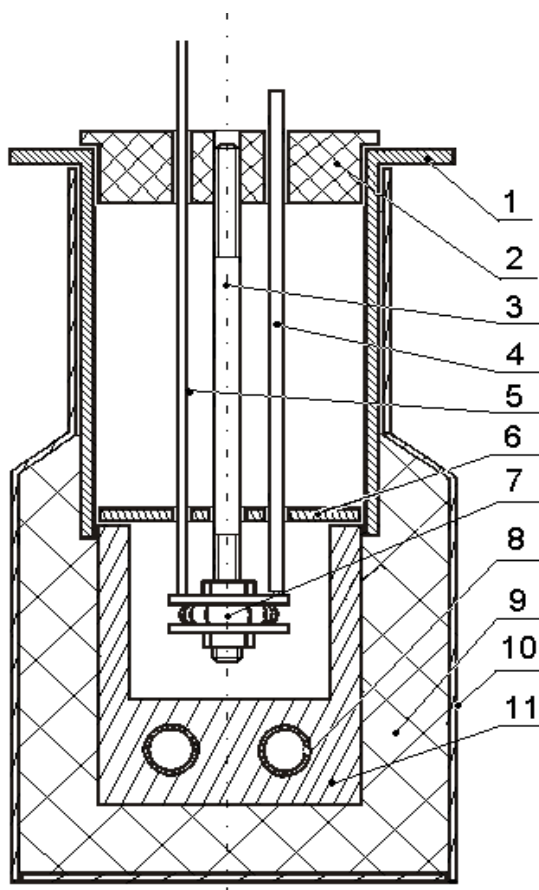


Рисунок 2.7 – Измерительная ячейка

Температурную зависимость начальной магнитной проницаемости измеряли следующим образом.

На образец в форме тороида наматывалась однослойная обмотка из 45 витков провода марки МГТФ – 0,12 с фторопластовой изоляцией, которая сохраняет свои свойства вплоть до верхней границы измерений. Тороид с намотанной обмоткой фиксировался внутри измерительной ячейки. Концы проводов обмотки через отверстия в крышке выводились наружу и при помощи зажимов присоединялись к автоматическому мосту (LCR-819). Нагревали измерительную ячейку при помощи встроенного нагревателя, ток в котором задавался терморегулятором. Питание терморегулятора производили с трансформатора ЛАТР. Показания температуры снимали при помощи термопары группы хромель-алюмель, спай которой прижимался к образцу.

Затем данные с вольтметра В7-78/1, который включен в режиме термопара и измерителя цифрового LCR-819 передаются на ПК в котором написано программное обеспечение на языке LabVIEW (Рисунок 2.8). В данной программе мы задаем путь сохранения текстового файла с полученными данными, выбираем приборы, с которых будет производиться опрос и время, через которое ПК будет опрашивать приборы. За счет изменения интервала времени мы можем менять разрешающую способность. Так же в процессе измерения мы наблюдаем изменение индуктивности и температуры. В конце измерения полученный текстовый файл экспортируется в пакет Origin 8.5 где при помощи формул обрабатываются значения, по которым строятся графики.

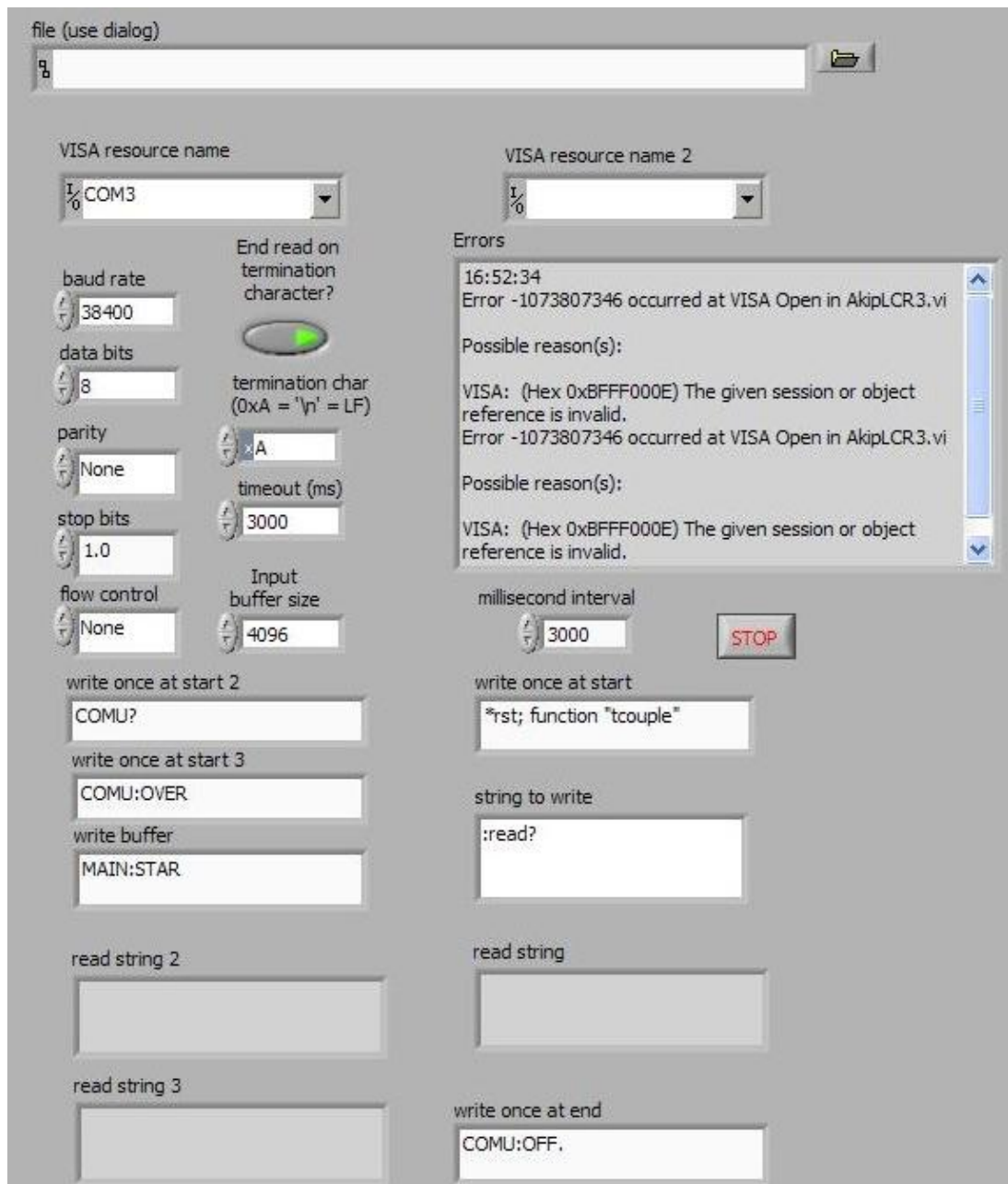


Рисунок 2.8 – Интерфейс программы LabVIEW

Температурная зависимость начальной магнитной проницаемости  $\mu_n(T)$  устанавливалась на основе данных температурной зависимости индуктивности  $L(T)$  кольцевого сердечника. Измерения производились после нагрева, кратковременной выдержки при температуре, примерно на  $50^\circ\text{C}$  превышающей температуру Кюри  $T_c$ . Вычисления и построение графиков проводили в пакете Origin 8.5. Расчет начальной магнитной проницаемости производился по формуле (2.1), которая учитывает геометрию конкретных образцов:

$$\mu_n = \frac{10^9 \cdot L}{2 \cdot \ln \left( \frac{D}{d} \right) \cdot h \cdot N^2}, \quad (2.1)$$

где  $\mu_n$  – начальная магнитная проницаемость;

$L$  – измеряемая индуктивность, Гн;

$D$  – внешний диаметр тороида, см;

$d$  – внутренний диаметр, см;

$h$  – высота, см;

$N$  – количество витков в обмотке.

## 2.4 Методика измерения плотности

В данной работе плотность и пористость образцов ферритовой керамики ЗСЧ-18 были определены с использованием метода гидростатического взвешивания с использованием аналитических весов Shimadzu AUW-220D. Расчет плотности осуществлялся по формуле (2.2):

$$\rho = \rho_{\text{жид}} \cdot \frac{m_{\text{сух}}}{m_{\text{нас.жид}} - m_{\text{H}_2\text{O}}}, \quad (2.2)$$

где  $\rho_{\text{жид}}$  – плотность дистиллированной воды, г/см<sup>3</sup>;

$m_{\text{сух}}$  – масса сухого образца, г;

$m_{\text{нас.жид}}$  – масса образца, насыщенного дистиллированной водой, г;

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  – масса образца, погруженного в дистиллированную воду, г.

Насыщение образцов дистиллированной водой проходило в течение суток в стеклянных бюксах.

Открытая пористость образцов определялась по следующей формуле (2.3):

$$\Theta_{\text{откр}} = \frac{m_{\text{нас.жид}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{нас.жид}} - m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

где  $m_{\text{нас.жид}}$  – масса образца, насыщенного дистиллированной водой, г;

$m_{\text{сух}}$  – масса сухого образца, г;

$m_{\text{H}_2\text{O}}$  – масса образца, погруженного в дистиллированную воду, г.

Полную пористость рассчитывали по формуле (2.4)

$$Q_{\text{полн}} = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{\text{теор}}}\right) \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

Рентгеновская (теоретическая) плотность  $\rho_{\text{теор}}$  для ЗСЧ-18 составляет  $4.5 \text{ г/см}^3$



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

### **4.1 Введение**

Данный раздел посвящен определению экономического эффекта по разработке метода контроля дефектности ферритовой керамики на основе температурной зависимости начальной магнитной проницаемости, на установке для измерения температурной зависимости начальной магнитной проницаемости, в качестве экспериментальной установки.

Целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-технического проекта.

### **4.2 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ**

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке метода оценки дефектного состояния ферритовой керамики на основе температурной зависимости начальной магнитной проницаемости. Эксперименты проводились - на установке для измерения температурной зависимости начальной магнитной проницаемости, компакты в виде таблеток и тороидов были изготовлены с использованием пресс-форм из нержавеющей стали и одностороннего холодного прессования на прессе гидравлическом ручном ПГр-10, термическое спекание производилось в печи сопротивления типа «ХимЛабо» со встроенным терморегулятором ТП-403,. Научная значимость исследования является возможность высокочувствительного контроля дефектности и качества промышленных изделий из магнитомягкой ферритовой керамики.

Потенциальными потребителями данного научно-технического исследования являются сотрудники НИИ, НПО, заводы порошковой ферритовой металлургии, изготавливающие магнитные материалы для фазовращателей, циркуляторов, элементов фазированных решеток и других элементов СВЧ техники.

В таблице 4.1 приведены основные сегменты рынка по следующим критериям: вид деятельности компании-заказчика и направление деятельности.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности	
		Производство техники, образцы керамики	СВЧ используя ферритовой керамики
Вид деятельности компании	НПО	+	+
	Заводы порошковой металлургии	+	
	НИИ		+

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке товаров для проведения магнитной структуроскопии не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок. Выбирают, как правило, два-три сегмента, на которые и направляют максимальные усилия и ресурсы предприятия. Как правило, выбирают сегменты со сходными характеристиками, которые будут формировать целевой рынок.

Результатом сегментирования:

- определены основные сегменты данного рынка;
- были выбраны сегменты, на которые намерено ориентироваться предприятие;
- выявлены сегменты рынка, привлекательных для предприятия в будущем [13].

### **4.3 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

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 [14].

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- 1 конкурентоспособность разработки;
- 2 технические характеристики разработки;
- 3 уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- 4 бюджет разработки;
- 5 уровень проникновения на рынок;
- 6 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.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом(4.1):

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (4.1)$$

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

$a^i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (таблица 4.1).

$$I_{p-ucnl} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 3,7$$

$$I_{p-ucnl} = 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 2,8$$

$$I_{p-ucnl} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 3,2$$

$$I_{p-uctl} = 3 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 = 2,3$$

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты (Таблица 4.2). Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес категории	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк	Кф	Кк
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
1 Повышение производительности труда пользователя	0,2	4	3	4	3
2 Предоставляемые возможности	0,2	3	2	3	2
3 Надежность	0,3	4	3	3	2
4 Простота измерения	0,2	4	3	3	2
5 Энергосбережение	0,1	3	3	3	3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>3,7</b>	<b>2,8</b>	<b>3,2</b>	<b>2,3</b>
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
1 Конкурентоспособность продукта	0,2	3	2	4	3
2 Цена	0,3	3	3	3	3
3 Уровень проникновения на рынок	0,1	3	4	3	4
4 Предположительный срок эксплуатации	0,4	4	3	4	3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>3,4</b>	<b>2,9</b>	<b>3,6</b>	<b>3,1</b>

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 4.2, 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 показал, что как технические, так и экономические критерии данного проекта на нынешний момент развития могут заинтересовать потенциальных покупателей, среди которых научные исследовательские институты, технические ВУЗы и узконаправленные компании. Так же получилось определить критерии, которые нуждаются в дальнейшей проработке для наилучшего внедрения на рынок.

#### **4.4 SWOT – анализ**

**SWOT** – 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 для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

1. **Сильные стороны.** Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован. При этом рекомендуется задавать следующие вопросы:

- Какие технические преимущества вы имеете по сравнению с конкурентами?
- Что участники вашего проекта умеют делать лучше всех?

Насколько ваш проект близок к завершению по сравнению с конкурентами?

2. **Слабые стороны.** Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами. Чтобы прояснить в каких аспектах вас, возможно, превосходят конкуренты, следует спросить:

- Что можно улучшить?
- Что делается плохо?
- Чего следует избегать?

3. **Возможности.** Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию. Формулирование возможностей проекта можно упростить, ответив на следующие вопросы [14]:

Какие возможности вы видите на рынке? Проводите поиск свободных ниш, но помните, что свободными они остаются недолго. Благоприятная возможность, увиденная сегодня, может перестать существовать уже через три месяца. Благоприятные возможности могут возникать в силу действия следующих факторов:

- изменения в технологической сфере и на рынке – как мирового, так и регионального масштаба;
- изменения правительственной политики в отношении отрасли, где проводится научное исследование;
- изменения социальных стандартов, профиля населения, стиля жизни и т.д.

- В чем состоят благоприятные рыночные возможности?

Какие интересные тенденции отмечены?

Какие потребности, пожелания имеются у покупателя, но не удовлетворяются конкурентами?

4. **Угроза** представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту. Для выявления угроз проекта рекомендуется ответить на следующие вопросы:

Какие вы видите тенденции, которые могут уничтожить ваш на-учно-исследовательский проект или сделать его результаты устаревшими?

Что делают конкуренты?

Какие препятствия стоят перед вашим проектом (например, изменения в законодательстве, снижение бюджетного финансирования проекта, задержка финансирования проекта и т.п.)?

Изменяются ли требуемые спецификации или стандарты на результаты научного исследования?

Угрожает ли изменение технологии положению вашего проекта?

Имеются ли у руководства проекта проблемы с материально-техническим обеспечением?

Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз должно происходить на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Для повышения эффективности проведения SWOT-анализа в каждой области должно быть приведено 5 – 10 пунктов, которые представляются наиболее значимыми для научного исследования.

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильным сторонам возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				
		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	-	-	+	+
	B2	-	+	-	+	+
	B3	+	+	+	-	+
	B4	+	+	+	+	-

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: B1C1C2C5; B4C1C4. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта [15].

В случае, когда две возможности сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. В этом случае, возможности описываются следующим образом: B2B3C2C3.

В рамках **третьего этапа** должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской диссертации (Таблица 4.4).



Таблица 4.4 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	<p>С1. Относительная простота использования</p> <p>С2. Новая методика оценки дефектного состояния ферритовой керамики на основе температурной зависимости магнитной проницаемости. С3. Проведение экспериментов на готовом лабораторном стенде</p> <p>С4. Максимальная информативность исследований</p> <p>С5. Квалифицированный персонал</p>	<p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с разработкой</p> <p>Сл2. Возможность доработки</p> <p>Сл3. Не разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки</p>
<b>Возможности:</b>	<p>Ключевыми сильными сторонами и возможностями являются высокая точность и надежность данного метода, так как разработанный метод измерения температурной зависимости начальной магнитной проницаемости служит для оценки дефектности всего объема образца, т.е. характеризует его усреднённую по объему дефектность.</p>	<p>Для проведения исследований и экспериментов необходим персонал с определенным уровнем подготовки, знаний и квалификации.</p>
<b>Угрозы</b>	<p>Не смотря на достоинства данной методики исследования, так же есть и угрозы которые связаны с отсутствием спроса в других научных центрах мира, так как всегда есть здоровая конкуренция между другими учеными, которые так же способны изобрести новые варианты и способы решения данной задачи.</p>	<p>на данный момент существует большое количество различных компьютерных программ, которые могут моделировать различные физические процессы. Таким образом методика данного научно-исследовательского проекта будет не актуальна, но компьютерные программы на данный момент не способны максимально корректно реализовать те функции, которые необходимы для получения результата, поэтому исследования в данной области еще выполняются.</p>
<p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ</p> <p>В2. Публикации актуальных статей в научных журналах</p> <p>В3. Появление дополнительного спроса на новый метод</p>		
<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Возможность создания новой, более улучшенной методики</p> <p>У3. Развитая конкуренция технологий и методов обработки и исследования в данной области работы</p> <p>У4. Отсутствие квалифицированных кадров</p>		

Таким образом, SWOT-анализа показал, что самой важной угрозой для проекта является развитая конкуренция технологий и методов исследований дефектного состояния ферритовой керамики, так как это может привести к созданию более новой усовершенствованной методики, которая может обойти значительную часть слабых сторон данного научно-исследовательского проекта, что может сделать не актуальной методику проводимых в проекте исследований. Очень важной угрозой для данного проекта является отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров в данной области исследований.

#### 4.5 Планирование комплекса работ на создание проекта

Определение трудоемкости и продолжительности работ осуществляется на основе отраслевых нормативов, типовых норм на разработку конструкторской документации, а для работ, обладающих большой неопределенностью на основе вероятностных (экспертных) методов, широко используемых в СПУ (Таблица ).

Таблица 4.5 – Перечень работ и распределение исполнителей

№ работы	Содержание работ	Должность исполнителя
1	Составление и утверждение темы и задания НИР	РП, СД
2	Изучение поставленной задачи и литературный поиск материалов по теме	СД
3	Определение последовательности этапов исследования	РП, СД
4	Описание установки и методики исследования	РП, СД
5	Календарное планирование работ	РП, СД
6	Проведение необходимых экспериментов на установке для осуществления НИР	РП, СД
7	Диагностика и анализ полученных результатов	РП, СД
8	Составление отчета	СД

РП – руководителя проекта, СД – студент-дипломник. На основании перечисленных работ для удобства был построен календарный план-график (Рисунок ) с длительность этапов в календарных днях.

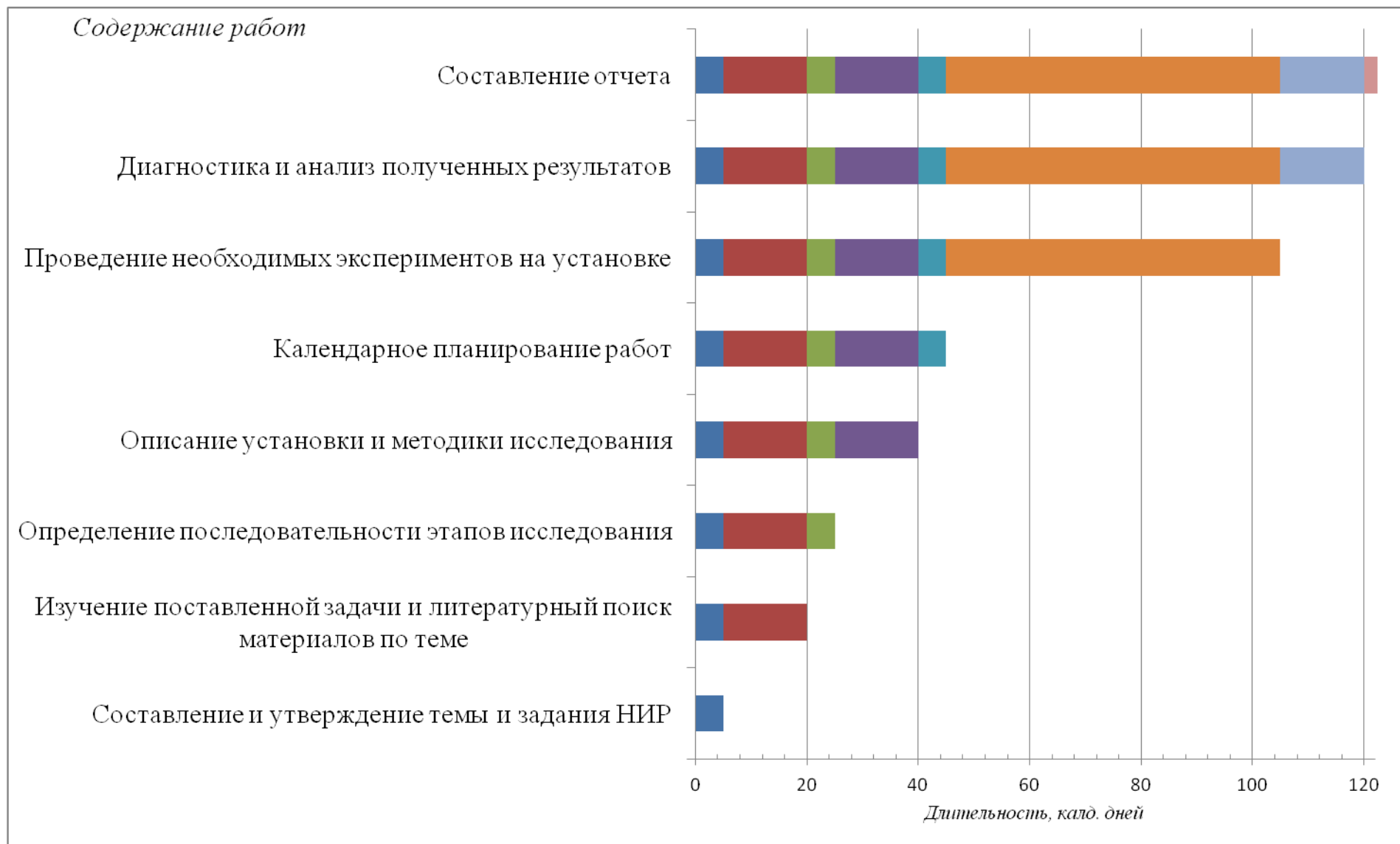


Рисунок 4.1 – Линейный план-график реализации НИИ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле (4.2):

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (4.2)$$

где  $t_{ож}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения работы, чел.-дн.;

$t_{min}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы чел.-дн.;

$t_{max}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу (4.3):

$$t_p = \frac{t_{ож}}{Ч}, \quad (4.3)$$

где  $T_p$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

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

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле (4):

$$T_k = T_p \cdot k, \quad (4.4)$$

где  $T_k$  – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

$T_p$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле (4.5):

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} \quad (4.5)$$

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

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

$T_{пд}$  – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ  $T_k$  нужно округлить до целых чисел.

Результаты расчетов приведены в Таблица .

Таблица 4.6 – Временные показатели проведения ВКР

№раб.	Исполнители					
		$t_{min}$ чел-дн	$t_{max}$ чел-дн	$t_{ож}$ чел-дн	$T_p$ раб.дн	$T_k$ кал.дн
1	РП, СД	4	10	4,4	2,2	3
2	СД	14	20	16,4	16,4	24
3	РП, СД	4	10	4,4	2,2	3
4	РП, СД	14	20	16,4	8,2	12
5	РП, СД	4	10	4,4	2,2	3
6	РП, СД	50	65	46,7	23,35	34
7	РП, СД	14	20	16,4	8,2	12
8	СД	19	25	21,4	21,4	31
Итого						122

Таким образом, в проектной деятельности участвуют двое сотрудников: руководитель проекта и студент-дипломник.

#### 4.6 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат: основная

заработная плата; отчисления во внебюджетные фонды; затраты на специальное оборудование для научных работ; накладные расходы.

#### 4.6.1 Расчет основной заработной платы

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 оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Данные для расчета:

1) Оклад: научного руководителя – 23100 руб. (рк), научно-технического работника – 2400 руб. (рк).

2) Плановый фонд рабочего времени за месяц – 176 часов (22 дня), а общий срок выполнения 976 часов (122 дня);

3) Дополнительная заработная плата.

4) Районный коэффициент (1,3).

Часовая тарифная ставка ( $C_{\text{ч}}$ ) определяется (4.6):

$$C_{\text{ч}} = \frac{\text{Оклад}}{\Phi_{\text{рв}}} \quad (4.6)$$

где  $\Phi_{\text{рв}}$  – плановый фонд рабочего времени за месяц у научно-технического работника, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Определяем заработную плату за час для научно-технического работника:

$$C_{\text{ч}} = \frac{2400}{176} = 13,63 \text{ руб. в час}$$

Основная заработная плата научно-технического работника за день составит (4.7):

$$ЗП_{осн} = C_ч * t \quad (4.7)$$

$$ЗП_{осн} = 13,63 \cdot 8 = 110 \text{ руб}$$

Дополнительная заработная плата (4.8):

$$ЗП_{доп} = \frac{ЗП_{осн} * 15}{100} \quad (4.8)$$

$$ЗП_{доп} = \frac{110 * 15}{100} = 16,5 \text{ руб}$$

Итого затраты на оплату труда (4.9):

$$З_{общ} = ЗП_{осн} + ЗП_{доп} \quad (4.9)$$

$$З_{общ} = 110 + 16,5 = 126,5 \text{ руб}$$

Теперь рассчитаем заработную плату научного руководителя:

Часовая тарифная ставка ( $C_ч$ ):

$$C_ч = \frac{23100}{176} = 131,25 \text{ руб. в час}$$

где  $\Phi_{рв}$  – плановый фонд рабочего времени за месяц у руководителя, из расчета 22 рабочих дня по 8 часов.

Основная заработная плата за проект у руководителя в день составит:

$$З_{осн} = 131,25 \cdot 8 = 1050 \text{ руб};$$

Дополнительная заработная плата:

$$З_{доп} = \frac{1050 * 15}{100} = 157,5 \text{ руб}$$

Итого затраты на оплату труда:

$$З_{общ1} = 1050 + 157,5 = 1210 \text{ руб.}$$

Общая сумма заработных плат составит исходя, из расчета 122 рабочих дня по 8 часов (4.7):

$$З_{общ} = 147620 + 15433 = 163053 \text{ руб.}$$



Таблица 4.7 – Расчет заработной платы участников проекта

Исполнители	Зм, руб	Здн, руб.	Тр, раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	26620	1210,0	122	147620,0
Студен – дипломник	2783	126,5	122	15433,0
Итого	163053			

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

Отчисления по заработной плате определяются по следующей формуле (4.10):

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{дон}), \quad (4.10)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент, учитывающий размер отчислений из заработной платы. Данный коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Итак, отчисления из заработной платы составили:

$$C_{внеб} = 0,3 \cdot 163053 = 48915,9 \text{ руб.}$$

#### 4.7 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 (Таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Количество единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер	1	30000,00	30900,00
2	Пресс гидравлический ручной ПГР-10	1	22715,00	23397,00
3	Высокоточные весы	1	6 586,83	6 785,00
4	Установка для измерения температурной зависимости начально магнитной проницаемости	1	88 760,00	91 429 ,00
5	Печь сопротивления	1	126548,61	130000,00
Итоговая сумма:				282511,00

#### 4.8 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (10)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,7 \cdot 163053 = 11414 \text{ руб}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НТИ по форме (Таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Расчет бюджета затрат НТИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	163053,0
2	Отчисления во внебюджетные фонды	48915,9
3	Накладные расходы	11414,0
4	Затраты на специальное оборудование для научных работ	282511,0
5	Бюджет затрат НТИ	505893,9

#### **4.9 Выводы по разделу**

Подводя итоги по оценке исследуемой методики для контроля дефектности ферритовой керамики на основе температурной зависимости начальной магнитной проницаемости, по критериям ресурсоэффективности и ресурсосбережению, следует отметить, что по всем показателям и критериям данная методика вполне актуальна для применения в учебно-исследовательских и лабораторных целях. Следует отметить важность для проекта в целом проведенных в данной главе исследований, которые позволили объективно оценить эффективность проводимых научно-технических исследований.

Также, следует отметить, что данная работа удовлетворяет всем потребностям и выполняет все конкретно поставленные цели. К внутренним и внешним заинтересованным сторонам проекта, которые будут взаимодействовать, и влиять на общий результат научного проекта относятся научные сотрудники, студенты лаборатории, которым предстоит работать над усовершенствованием методики.

## Список публикаций студента

1. Ершов А.В., Верпета М.Я. Цифровая обработка сигнала лабораторной установки ямр // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых: в 3 т., Томск, 3-8 октября 2016. – Томск: ТПУ, 2016 – Т. 1 – С. 75-77.

2. Ершов А.В., Гальцева О.В. Модернизация приборного комплекса для автоматического расчета параметров ЯМР спектров/МОСКВА INTERMATIC–2016, часть 3 МИРЭА с.155-158  
<http://www.conf.mirea.ru/CD2016/pdf/p3/42.pdf>

3. Ершов А.В. Метод контроля дефектного состояния ферритовой керамики // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов VI Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, Томск, 9-14 октября 2017. – Томск: ТПУ, 2017 – С. 29.  
[http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/resurs/proceedings/Resurs\\_papers\\_2017.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/resurs/proceedings/Resurs_papers_2017.pdf)

4. A B Petrova, A L Astafyev and A V Ershov The study of initial permeability temperature dependences for LiTiZn ferrite ceramics 2018 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 289 012042 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/289/1/012042>