

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Магнитный контроль параметров ферромагнитных объектов методом высших гармоник

УДК 620.179.14:621.318.122

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Соковец Константин Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Гольдштейн Александр Ефремович	д.т.н., профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.		

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 Специалист в области контрольно-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		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-конструкторским разработкам)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
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»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Отделение 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	ФИО
1БМБА	Соковец Константину Александровичу

Тема работы:

Методы контроля магнитной проницаемости ферритовой керамики

Утверждена приказом директора (дата, номер) 30.11.2016 № 10267/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Многопараметровая установка для измерения магнитных характеристик тороидальных образцов из ферромагнитной стали различных марок с начальной магнитной проницаемостью $\mu_r \geq 40$ и коэрцитивной силой $H_c \leq 4000$ А/м.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Аналитический обзор литературы 2. Экспериментальная установка и используемое диагностическое оборудование 3. Экспериментальные результаты и их обсуждение 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5. Социальная ответственность
Перечень графического материала	Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2010
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
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

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

2 Разработка системы измерения магнитных характеристик с возможностью реализации метода высших гармоник. 2.1 Устройство и принцип действия. 2.1.1 Технические характеристики блоков входящих в состав установки. 2.1.2 Программное обеспечение установки. 2.2 Выбор и подготовка образцов. 2.3 Методика проведения эксперимента. 2.4 Результаты измерений. 2.5 Выводы к главе. 2 Development of a system for measuring magnetic characteristics with the possibility of implementing high-order harmonic method. 2.1 The device and the principle of operation. 2.1.1 Technical characteristics of the units included in the installation. 2.1.2 Installation software. 2.2 Selection and preparation of samples. 2.3 The method of the experiment. 2.4 Measurement result 2.5 Conclusions to the chapter

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Гольдштейн Александр Ефремович	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Соковец Константин Александрович		

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение
 Уровень образования Магистратура
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения 2016/2018 учебные годы

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15/09/2016	Литературный обзор	15
15/02/2017	Разработка установки	15
05/06/2017	Разработка методики	15
16/10/2017	Выполнение экспериментальной части	30
25/02/2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
20/04/2018	Социальная ответственность	10
15/05/2018	Разделы, выполненные на иностранном языке	5
		<i>Сумма: 100 баллов</i>

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОКД	Гольдштейн Александр Ефремович	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководителем ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 116 с., 27 рис., 16 табл., 47 источников.

Ключевые слова: структурный анализ, магнитная структуроскопия, ферромагнетик, метод высших гармоник, многопараметровая установка для измерения магнитных характеристик.

Объектом исследования являются контрольные образцы тороидальной формы из ферромагнитных сталей различных марок, изготовленные согласно ГОСТ 8.377-80, магнитные параметры которых исследуются с помощью разработанной многопараметровой установки для измерения магнитных характеристик MS-1.

Цель работы: исследовать информативные возможности метода высших гармоник для получения информации о структурном состоянии и химическом составе ферромагнитных материалов и изделий.

В процессе исследования проводились

1. Разработка экспериментальной установки MS-1, позволяющая проводить измерение мгновенного значения индукции, значений амплитуд высших гармоник кривой индукции, значений B_r , B_s , H_c , H_s , а так же визуализировать петлю гистерезиса.

2. Изготовление контрольных образцов тороидальной формы из сталей 4ХФМС, ШХ15, 9ХС, Ст3, Х12МФ, 6ПС, 50Х.

3. Экспериментальная оценка информативных возможностей метода высших гармоник в структуроскопии.

В результате исследования была разработана многопараметровая установка для исследования магнитных характеристик ферромагнитных объектов и значений амплитуд высших гармоник кривой индукции. Показаны информативные возможности метода высших гармоник в сравнении с другими методами магнитной структуроскопии.

Область применения: магнитная структуроскопия ферромагнетиков.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 8.377-80. Материалы магнитомягкие. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик.
2. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.
3. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
4. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда. Электростатические Поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
5. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
6. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
7. ГОСТ Р 52106-2003 Ресурсосбережение.
8. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования.
9. ГОСТ 12.4.009-83. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов.
10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

ферромагнетик: вещество или материал, в котором наблюдается явление ферромагнетизма, то есть появление спонтанной намагниченности при температуре ниже температуры Кюри.

точка Кюри Θ , °С: Критическая температура, выше которой ферромагнетик теряет свои магнитные свойства.

магнитная индукция B , 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 физическая величина, равная разности вектора магнитной индукции и вектора намагниченности.

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

Магнитная структуроскопия: определение структуры материала объекта контроля методами магнитного неразрушающего контроля.

Метод высших гармоник: один из методов магнитной структуроскопии основанный на анализе гармонического состава кривой индукции.

В данной работе использованы следующие сокращения:

МВГ – метод высших гармоник

ОК – объект контроля

ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь

ЭМП – электромагнитное поле

Оглавление

Введение.....	13
1 Обзор литературы.....	15
1.1 Магнитные характеристики материалов.....	15
1.1.1 Свойства сплавов и металлов.....	15
1.1.2 Магнитные характеристики ферромагнетиков.....	16
1.2 Измерение магнитных характеристик.....	19
1.2.1 Измерение магнитных характеристик согласно ГОСТ.....	19
1.2.2 Современные средства измерений магнитных характеристик.....	21
1.3 Физические основы магнитной структуроскопии.....	25
1.3.1 Магнитная структуроскопия.....	25
1.3.2 Контроль свойств по коэрцитивной силе.....	26
1.3.3 Контроль свойств по шумам Баркгаузена.....	28
1.3.4 Контроль свойств по остаточной индукции.....	29
1.4 Исследование магнитных свойств ферромагнетика при помощи гармонического анализа.....	29
1.4.1 Математическая основа Фурье анализа.....	29
1.4.2 Применение метода высших гармоник в неразрушающем контроле.....	32
1.4.3 Техническая реализация структуроскопов на основе метода высших гармоник.....	36
1.5 Выводы к главе.....	37
2 Разработка системы измерения магнитных характеристик с возможностью реализации метода высших гармоник.....	39
2.1 Устройство и принцип действия.....	39
2.1.1 Технические характеристики блоков входящих в состав установки.....	41
2.1.2 Программное обеспечение установки.....	43
2.2 Выбор и подготовка образцов.....	45
2.3 Методика проведения эксперимента.....	47
2.4 Результаты измерений.....	49
2.5 Выводы к главе.....	56
3. Социальная ответственность.....	59
3.1 Введение.....	59
3.2.1 Анализ вредных и опасных факторов при разработке установки, измеряющей магнитные характеристики материалов.....	60

3.3 Экологическая безопасность.....	66
3.4 Безопасность в ЧС.....	67
3.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	69
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	72
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	72
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	74
4.3 SWOT-анализ.....	76
4.4 План проекта.....	80
4.5 Бюджет научного исследования	83
4.6 Основная заработная плата	85
4.7 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала ..	88
4.8 Отчисления на социальные нужды	88
4.9 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями	89
4.10 Накладные расходы.....	89
Заключение.....	91
Список публикаций студента.....	92
Список используемых источников.....	93
Приложение А.....	98

Введение

В настоящее время магнитные измерения применяются как для определения непосредственно магнитных свойств материалов, так и для суждения о свойствах, о структурно-фазовом состоянии, внутренних и приложенных напряжениях, наличии различного рода дефектов и других важных технологических характеристиках изделий.

Магнитные методы структурно-фазового анализа достаточно давно и широко применяются в промышленности. Дальнейшее их развитие, очевидно, может идти в двух направлениях. Первое – поиск новых параметров контроля, разработка новых методик и измерительных преобразователей, позволяющих измерять физические характеристики, являющиеся параметрами контроля. Второе направление, значительно расширяющее диапазон применения физических методов неразрушающего контроля, - использование одновременно нескольких физических характеристик в качестве параметров контроля. Многопараметровые методы контроля обеспечивают высокую информативность и достоверность оценки состояния материалов [1-3]. Однако для их реализации требуются устройства, позволяющие с достаточной для практики точностью определять необходимый комплекс параметров контроля и, по возможности, обладающие мобильностью, простотой и удобством измерений, возможностью оцифровки, компьютерной обработки и сохранения результатов измерений.

Специфика магнитного вида неразрушающего контроля заключается в сложности измерений и интерпретации результатов. Необходимо, как правило, определять магнитные характеристики не тела, а вещества контролируемых изделий.

Исходя из вышеизложенного, были сформулированы следующие цели и задачи исследования.

Цель работы: Исследовать информативные возможности метода высших гармоник для получения информации о структурном состоянии и химическом составе ферромагнитных материалов и изделий.

Задачи:

1. Проанализировать существующие методы измерения магнитных характеристик и методы магнитной структуроскопии.
2. Разработать измерительную установку для измерения основных магнитных характеристик.
3. Произвести измерение магнитных характеристик различных сталей, используя подготовленные контрольные образцы.
4. Провести анализ результатов измерений с точки зрения возможности получения информации о физических свойствах магнитных материалов и определения наиболее информативных параметров для решения прикладных задач магнитной структуроскопии.

1 Обзор литературы

1.1 Магнитные характеристики материалов

1.1.1 Свойства сплавов и металлов

Все сплавы металлов и металлы имеют определенные свойства. Свойства сплавов и металлов можно разделить на три группы: химические, физико-механические и технологические.

К физико-механическим свойствам сплавов и металлов относятся: температура плавления, тепловое расширение, электропроводность, теплопроводность, плотность, удельная теплоемкость, способность намагничиваться, прочность, твердость, упругость, пластичность, ударная вязкость.

Магнитные свойства относят к физико-механическим свойствам, они характеризуются следующими величинами: остаточной индукцией, магнитной проницаемостью и коэрцитивной силой. Остаточной индукцией называют магнитную индукцию, которая сохраняется в образце после его намагничивания и снятия магнитного поля. Остаточную индукцию измеряют в гауссах. Коэрцитивной силой называют напряженность магнитного поля, которая должна быть приложена к образцу, чтобы свести к нулю остаточную индукцию, т. е. размагнитить образец. Коэрцитивную силу измеряют в эрстедах. Магнитная проницаемость μ характеризует способность металла намагничиваться.

Химическими свойствами металлов и сплавов называют свойства, которые определяют их отношение к химическим воздействиям различных активных сред. Каждый металл или сплав металла обладает определенной способностью сопротивляться воздействию этих сред. [4]

1.1.2 Магнитные характеристики ферромагнетиков

Ферромагнетиками называются твердые вещества, обладающие при не слишком высоких температурах самопроизвольной (спонтанной) намагниченностью.

Магнитное поле, создаваемое ими, может в сотни и тысячи раз превосходить внешнее поле. Ферромагнетизм наблюдается у железа, кобальта, никеля и у их многочисленных сплавов.[5]

Отмеченные характерные свойства ферромагнетиков объясняются их микроструктурой. Ферромагнетики состоят из малых областей, называемых доменами. Домены имеют размер порядка 1–10 мкм, намагничены до насыщения, т.е. в пределах домена магнитные моменты всех атомов имеют одинаковые направления. Однако направления магнитных моментов разных доменов ориентированы хаотично, и в отсутствие внешнего магнитного поля суммарный магнитный момент ферромагнетика может быть равен нулю.

Причины возникновения определенного порядка в расположении магнитных моментов атомов в твердых телах связаны с особенностями электронной структуры кристаллов и природой сил, вызывающих спиновую упорядоченность. Согласно квантовой теории ферромагнетизма решающую роль в создании спонтанной намагниченности играют силы обменного взаимодействия между микрочастицами, не имеющие аналога в классической физике, хотя и являются электростатическими по своему происхождению. Из опытов по изучению магнитомеханических явлений следует, что ответственными за магнитные свойства ферромагнетиков являются спиновые магнитные моменты электронов.[6-8]

При внесении ферромагнетика в магнитное поле происходит его намагничивание. Намагничивание состоит: во-первых, в смещении границ доменов и росте размеров тех доменов, векторы магнитных моментов которых близки по направлению к магнитной индукции внешнего намагничивающего

поля H и, во-вторых, в повороте магнитных моментов целых доменов по направлению внешнего магнитного поля.

В достаточно сильном магнитном поле достигается состояние насыщения, когда весь образец намагничен по полю (рисунок 1,а, участок 1–2).

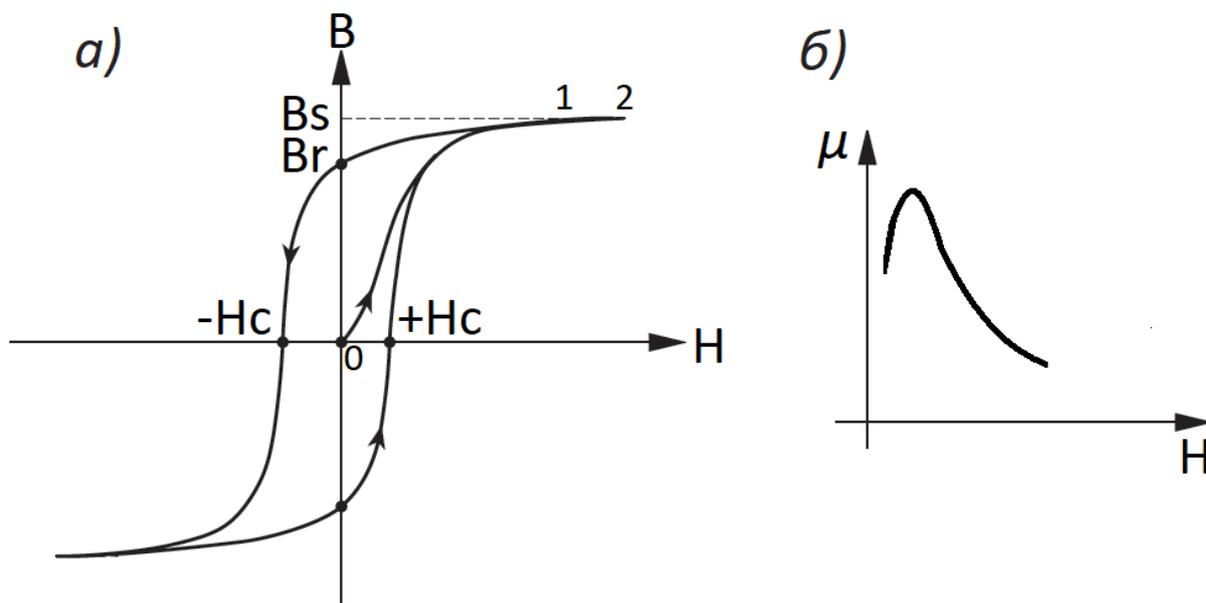


Рисунок 1 – Петля гистерезиса (а), магнитная проницаемость (б)

На рисунке 1,а изображена кривая, получившая название петли гистерезиса. Намагничивание происходит по кривой 0–1, которая называется кривой намагничивания. Магнитный гистерезис объясняется доменной структурой ферромагнетика. В процессе намагничивания ферромагнетика происходит увеличение доменов, особенно тех, магнитные моменты которых имеют малый угол с вектором H . По мере усиления внешнего магнитного поля этот процесс захватывает все большее число доменов, магнитные моменты которых ориентируются по полю. И, наконец, в точке 1 (рисунок 1,а) наступает насыщение – магнитный момент ферромагнетика достигает максимума. Дальнейшее увеличение магнитной индукции внешнего поля вызывает лишь незначительное линейное увеличение магнитной индукции в ферромагнетике (участок 1- 2). Величина магнитной индукции B_s , соответствующая участку 1-2, называется индукцией насыщения.

При уменьшении индукции намагничивающего поля H магнитная индукция B в ферромагнетике изменяется по кривой, лежащей выше кривой намагничивания 0-1. При $H=0$ индукция магнитного поля в ферромагнетике отлична от нуля, т.е. наблюдается остаточная намагниченность B_r . Она обусловлена тем, что после прекращения действия внешнего магнитного поля у части доменов сохраняется преимущественная ориентация их магнитных моментов. Чтобы полностью размагнитить ферромагнетик, следует создать в нем магнитное поле противоположного направления с силой H_c . Величина H_c называется коэрцитивной силой. Коэрцитивная сила характеризует свойство ферромагнетиков сохранять намагниченность после прекращения действия намагничивающего поля. Эта величина, наряду с магнитной проницаемостью, определяет область практического применения ферромагнетика. [9]

Большой коэрцитивной силой (широкой петлей гистерезиса) обладают магнитотвердые ферромагнетики, используемые для изготовления постоянных магнитов. Малую коэрцитивную силу (узкую петлю гистерезиса) имеют магнитомягкие ферромагнетики, используемые для изготовления сердечников трансформаторов, магнитных цепей и т.д.

Чтобы размагнитить ферромагнетик, нужно приложить обратное по направлению и величине поле. Возвращаясь постепенно к индукции H , намагниченность ферромагнетика вновь достигнет насыщения. В результате получим замкнутую кривую – петлю гистерезиса.

Схема ориентации магнитных моментов в доменах при намагничивании показана на рисунке 2.

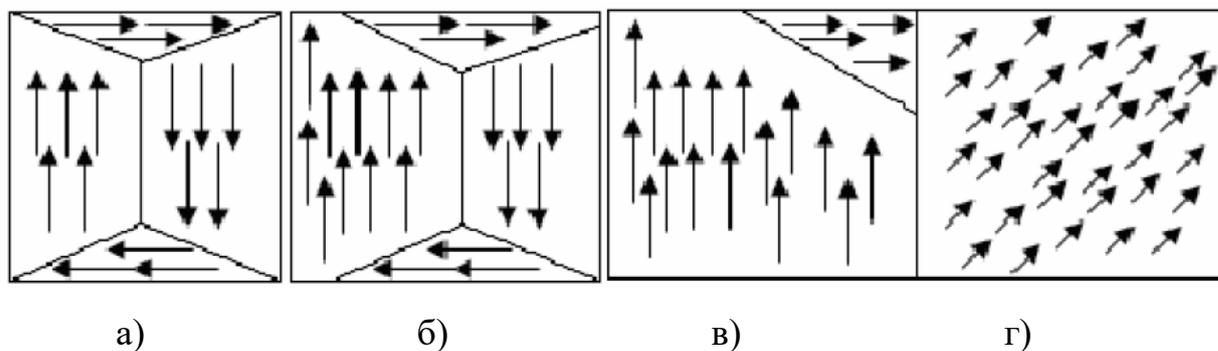


Рисунок 2 – Ориентация магнитных моментов

Ферромагнетик размагничен (рисунок 2,а), магнитные моменты в домене ориентированы в противоположных направлениях и суммарный магнитный момент домена равен нулю. Остаточной намагниченности в ферромагнетике не возникает. На рисунке 2,б показана ориентация магнитных моментов в слабом магнитном поле, а на рисунке 2в – в сильном. Ориентация магнитных моментов при насыщении изображена на рисунке 2,г.

Важной характеристикой магнетиков является магнитная проницаемость μ . Она показывает, во сколько раз магнитное поле в ферромагнетике больше намагничивающего поля.

Данное определение справедливо для однородного магнетика, находящегося в области, ограниченной силовыми линиями магнитного поля. В реальных телах из ферромагнетиков усиление поля будет меньше, чем в μ раз. Относительная магнитная проницаемость ферромагнетиков является нелинейной функцией напряженности магнитного поля H (рисунок 1,б). При увеличении H магнитная проницаемость сначала растет, достигая μ_{max} , а затем убывает, асимптотически приближаясь к единице при очень сильных магнитных полях. [10]

1.2 Измерение магнитных характеристик

1.2.1 Измерение магнитных характеристик согласно ГОСТ

Измерение магнитных характеристик ферромагнитных материалов осуществляется согласно требованиям к контролю по ГОСТ 8.377-80 «Материалы магнитомягкие. Методика выполнения измерений при определении статических магнитных характеристик». Данная нормативная документация распространяется на измерение параметров магнитомягких материалов с коэрцитивной силой до 4 кА/м и устанавливает методику выполнения измерений при определении основной кривой намагничивания и петли магнитного гистерезиса образцов этих материалов и их параметров: начальной магнитной проницаемости; максимальной магнитной

проницаемости; остаточной магнитной индукции; коэрцитивной силы по индукции; коэффициента прямоугольности петли магнитного гистерезиса; коэрцитивной силы по намагниченности; температурных коэффициентов вышеперечисленных параметров, а также требования к этим образцам и измерительной аппаратуре.[11]

Для измерения магнитных параметров и определения основной кривой намагничивания и петли магнитного гистерезиса используют кольцевые образцы, геометрические параметры которых должны быть измерены с погрешностью менее $\pm 0,5\%$.

Образцы, изготовленные с применением механических операций (штамповки, резки, навивки, точения), перед измерениями должны быть термически обработаны в соответствии с требованиями НТД на данный материал.

Температура окружающего воздуха при измерениях должна быть $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$, а относительная влажность не должна превышать 80%.

При измерении параметров предельной петли гистерезиса значение максимального намагничивающего поля принимают в соответствии с НТД на материал или определяют экспериментально. Достаточным является такое значение намагничивающего поля, уменьшение которого на 25% приводит к уменьшению остаточной индукции и коэрцитивной силы не более чем на 1%.

Для измерения магнитных характеристик материала образцов в ГОСТ 8.377-80 рекомендуется использовать оборудование, реализующее метод ступенчатого изменения тока намагничивания и определения магнитной индукции интегрированием ЭДС индукционной обмотки с помощью баллистического гальванометра либо веберметра.

Принципиальная схема рекомендуемой установки для определения статических магнитных характеристик и параметров образцов выглядит следующим образом:

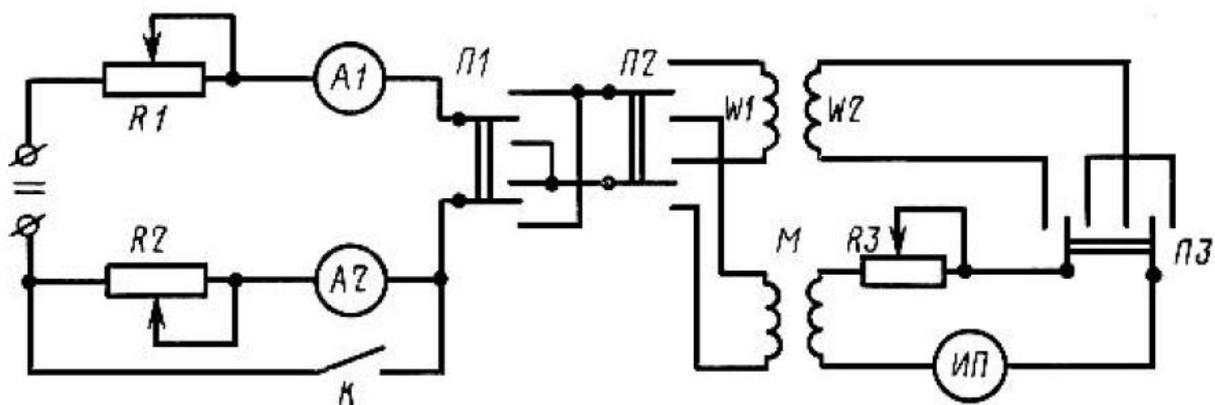


Рисунок 3 – Принципиальная схема установки для определения статических магнитных характеристик и параметров образцов

Где R1, R2 – регулировочные устройства; A1, A2 – амперметры; П1, П2, П3 – двухполюсные переключатели; W1 – намагничивающая обмотка образца; W2 – измерительная обмотка образца; К – ключ; М – образцовая катушка взаимной индуктивности; R3 – магазин сопротивлений; ИП – веберметр или баллистический гальванометр.

Однако данная установка имеет ряд недостатков связанных с тем, что высока доля влияния субъективных факторов, трудоемкость, сложность реализации и низкая производительность контроля.

Согласно пункту 1.4 данного ГОСТ допускается измерение магнитных характеристик образцов на оборудовании с другим принципом действия, но обеспечивающем измерения с погрешностями, не превышающими следующие показатели: для магнитной индукции $\pm 3\%$ и для напряженности магнитного поля $\pm 2\%$. [11]

1.2.2 Современные средства измерений магнитных характеристик

В работе [12] описан принцип действия установки для измерений магнитных свойств вещества под названием СИМТЕСТ. Внешний вид приведен на рисунке 4.

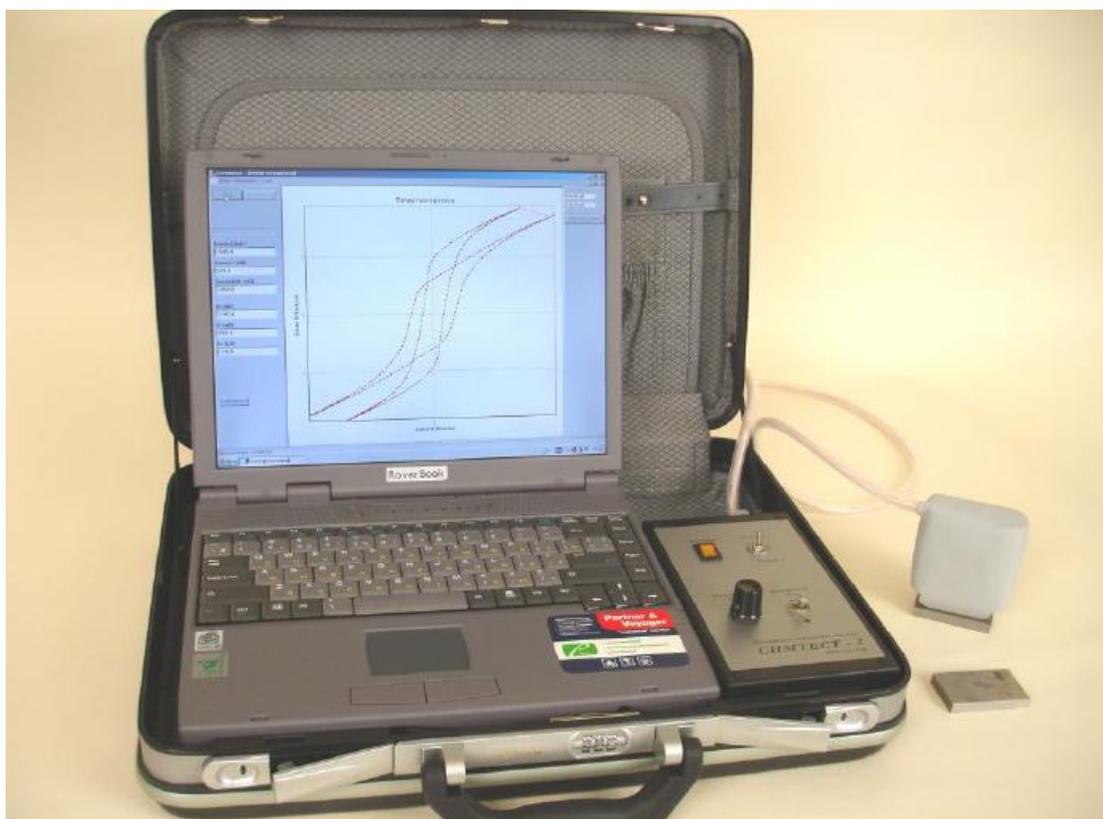
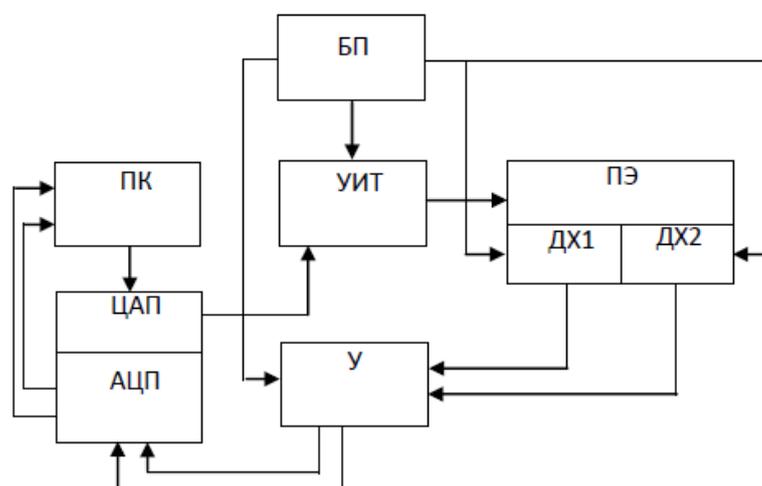


Рисунок 4 – Программно-аппаратная система СИМТЕСТ

Установка соответствует всем требованиям ГОСТ 8.377-80 и имеет следующие технические характеристики: разрешающая способность при измерении намагниченности насыщения (M_s) 10 А/см; диапазон измеряемых значений: 6000÷17000. Разрешающая способность при измерении остаточной намагниченности (M_r) 10 А/см; диапазон измеряемых значений 3000÷17000. Погрешность при измерении коэрцитивной силы (H_c) 3%; диапазон измеряемых значений 1÷130. Время одного измерения составляет 20 секунд.

Блок-схема установки показана на рисунке 5



ПК – персональный компьютер типа “ноутбук”; БП – блок питания; УИТ – управляемый источник тока; ПЭ – приставной электромагнит со щелью-преобразователем в магнитопроводе; ДХ1 и ДХ2 – датчики Холла для измерения поля в щели и на поверхности изделия; У – блок усиления; АЦП, ЦАП – аналого-цифровой преобразователь L-Card E-440 с каналом цифро-аналогового преобразования

Рисунок 5 – Блок-схема программно-аппаратной системы СИМТЕСТ

В данной программно-аппаратной системе, намагничивание изделий осуществляется с помощью приставного электромагнита, либо неэлектрического намагничивающего устройства. Магнитный поток в контролируемом изделии измеряют с помощью отверстия-преобразователя, а величину внутреннего магнитного поля измеряют на поверхности изделия датчиком Холла. Программное обеспечение данной системы включает в себя пакет управляющих программ, а так же программы для графической, статистической и математической обработки результатов.

В работе [13] рассмотрен измерительный прибор «УИМХ» (установка для измерения магнитных характеристик). Работа данной установки осуществляется под управлением персонального компьютера, регистрирующего, обрабатывающего и выводящего на экран монитора измеренные магнитные параметры.

Установка для измерения магнитных характеристик (УИМХ) предназначена для измерения начальной кривой намагничивания, предельной и

частных петель магнитного гистерезиса, а также их основных (максимальная магнитная проницаемость, остаточная магнитная индукция, коэрцитивная сила по индукции, максимальная напряженность намагничивающего поля, максимальная индукция, намагниченность насыщения) и дополнительных (начальная магнитная проницаемость, напряженность намагничивающего поля; релаксационные коэрцитивная сила, магнитная индукция и магнитная проницаемость; остаточная магнитная индукция после снятия поля, равного коэрцитивной силе; потери на гистерезис и коэффициент прямоугольности), параметров магнитомягких материалов и изделий из них. [13]

УИМХ имеет следующие технические характеристики: частота перемагничивания 0,05 – 0,5 Гц; пределы измерения напряженности перемагничивающего поля не менее ± 40 кА/м; пределы измерения магнитной индукции не менее $\pm 2,5$ Тл.

Внешний вид установки УИМХ представлен на рисунке 6



1- блок управления; 2 - блок намагничивания; 3 - преобразователь

Рисунок 6 – Общий вид установки УИМХ

Проведенный анализ показывает, что в настоящее время в области структуроскопии ферромагнитных материалов и изделий имеются различные

вариации многопараметровых измерительных устройств, однако рассмотренные в данном разделе установки имеют ряд недостатков, а именно: постоянное смещение нулевого уровня при интегрировании э,д,с индукции, значительно влияющее на результат эксперимента, и отсутствие возможности проведения гармонического анализа кривой индукции, что существенно сужает возможности проведения структуроскопии и идентификации стальных объектов.

1.3 Физические основы магнитной структуроскопии

1.3.1 Магнитная структуроскопия

Структуроскопия является совокупностью средств и методов косвенного определения физических и механических свойств материала. Магнитный структурный анализ используется для исследования химического состава, диаграмм состояния, характеристики чистоты вещества и выявления макро- и микродефектов.

В решении задач структуроскопии применяют следующие методы: коэрцитиметрия, анализ шумов Баркгаузена, измерения остаточной магнитной индукции, магнитной проницаемости и метод высших гармоник.[14-15]

Для достоверного определения свойств изделий и материалов, а также их остаточного ресурса, необходимо систематическое усложнение и совершенствование средств и методик неразрушающего контроля. Исходя из этого в наши дни актуально использование средств и методов многопараметровой магнитной структуроскопии, подразумевающие измерение нескольких физических параметров контролируемого изделия.[16]

Проблема детализированного исследования взаимосвязей магнитных параметров вещества с механическими свойствами и структурой изделий из ферромагнитных материалов с целью определения достаточно универсальных и простых в измерении параметров в настоящее время актуальна. Из ряда параметров широко применяется в структуроскопии изделий из

ферромагнитных материалов только коэрцитивная сила. Однако, коэрцитиметрия не решает всех вопросов в области структуроскопии ферромагнитных изделий.

Для проведения достоверного однопараметрового контроля нужно, чтобы между параметром контроля и контролируемым свойством существовала однозначная зависимость между измеряемым и исследуемым параметром в широком интервале их изменения. Причем на характер этой корреляции не должны оказывать влияния предшествующие обработка или различного рода воздействия[17]. Следует отметить, что выполнение этих условий одновременно достаточно проблематично. Исходя из вышеизложенного использование многопараметровых методов структуроскопии актуально на сегодняшний день. Примером может служить контроль качества закалки высокоуглеродистых сталей, при котором оценка реальной температуры закалки требует проведения и коэрцитиметрии и определения намагниченности насыщения.

1.3.2 Контроль свойств по коэрцитивной силе

Физической основой метода контроля по коэрцитивной силе временного сопротивления при разрыве, предела прочности относительного удлинения и сужения является взаимосвязь между прочностью и пластичностью. Дефекты структуры повышают прочностные характеристики материала и его коэрцитивную силу, одновременно снижая пластичность.

Чувствительность коэрцитивной силы к содержанию углерода в стали позволяет использовать её для рассортировки углеродистых сталей по маркам. Для легированных сталей влияние легирующих элементов может нарушить корреляционную связь коэрцитивной силы с количеством углерода в стали [18].

Контроль качества закалки и последующего отпуска. Коэрцитивная сила может быть использована в качестве параметра для неразрушающего

контроля качества термообработки изделий из конструкционных марок сталей только после закалки или после закалки и последующего низкотемпературного отпуска, являющихся основными видами термообработок, применяемых в машиностроении. Незакаленное состояние от закаленного можно отличить по величине коэрцитивной силы для всех конструкционных сталей. При этом надежность контроля качества закалки доэвтектоидных сталей не хуже, чем при контроле по твердости. Методы коэрцитиметрии успешно решают задачи контроля твердости изделий после закалки и низкотемпературного (100–300°C) отпуска средне- и высокоуглеродистых, а также легированных марок сталей [19]. Такому отпуску после закалки подвергаются измерительный и режущий инструмент, детали подшипников качения, пружины и другие детали. Однако контроль среднетемпературного и высокотемпературного отпуска закаленных деталей из конструкционных сталей невозможен из-за неоднозначности связи коэрцитивной силой с температурой отпуска в этих областях.

Контроль напряженно-деформированного состояния. Напряженно - деформированное состояние деталей является их важной эксплуатационной характеристикой, так как при превышении определенного уровня напряжения могут привести к деформации и разрушению таких ответственных конструкций, как пролеты мостов, перекрытия зданий, стрелы и тросы подъемных механизмов и многих других, а также к заклиниванию вращающихся частей электрических машин. Значительные одноосные механические напряжения возникают и в изделиях протяженной формы при их термической обработке. В основе контроля по коэрцитивной силе действующих в стальных конструкциях одноосных напряжений лежит магнестрикционная связь между приложенным напряжением и смещением доменных границ. В области упругих напряжений наибольшей чувствительностью к растягивающим напряжениям обладает коэрцитивная сила, измеренная перпендикулярно к направлению приложения нагрузки. При этом с ростом растягивающих нагрузок

коэрцитивная сила, измеренная в данном направлении, падает. Напряжения сжатия вызывают наибольшие изменения коэрцитивной силы, и измеренной вдоль направления приложения нагрузки. С увеличением сжимающей нагрузки коэрцитивная сила вдоль этого направления растет. Поэтому одноосные напряжения растяжения контролируют по величине коэрцитивной силы, измеренной перпендикулярно направлению растяжения, а одноосные напряжения сжатия – по величине коэрцитивной силы, измеренной вдоль направления сжатия [20].

1.3.3 Контроль свойств по шумам Баркгаузена

Наличие доменной структуры при нулевом магнитном моменте всего ферромагнетика (при отсутствии внешних магнитных полей) энергетически выгодно и соответствует минимуму свободной энергии. Доменная структура определяет все процессы намагничивания и перемагничивания в ферромагнетиках, в том числе и эффект Баркгаузена. Внешне магнитный эффект Баркгаузена проявляется в скачкообразном изменении намагниченности ферромагнетика при плавном изменении намагничивающего поля. Скачкообразное изменение намагниченности может происходить также при плавном изменении и других физических параметров (механические напряжения, температура).

Наиболее яркое свойство скачков Баркгаузена – это быстро «срабатывать», т.е. отдельное микроскопическое изменение намагниченности осуществляется значительно быстрее, чем среднее значение намагниченности, определяемое скоростью изменения внешнего магнитного поля. Для появления скачков Баркгаузена необходимо, чтобы внешнее поле достигло определенной величины (поле старта).

Основными механизмами скачков Баркгаузена считают образование и последующее разрастание при уменьшении намагничивающего поля зародышей обратной фазы (т. е. доменов с противоположным направлением

намагниченности), а также скачкообразное движение доменных границ на дефектах (немагнитные включения, дислокации и т.д.) и неоднородностях внутренних напряжений [21].

1.3.4 Контроль свойств по остаточной индукции

В методах контроля, основанных на измерении остаточной магнитной индукции изделий, подразумевается не измерение остаточной индукции вещества (B_r), из которого изготовлено изделие, а остаточной индукции тела ($B'r$). Многие типоразмеры изделий имеют небольшое отношение длины к поперечному размеру. При таких отношениях размеров проницаемость формы мала и выполняется соотношение

$$B'r = \frac{1}{\mu_0} \cdot m \cdot Hc \quad (1)$$

то есть измеряемая остаточная индукция пропорциональна коэрцитивной силе изделия. При локальном намагничивании массивных изделий, когда намагничивают изделие в небольшом объеме перпендикулярно его поверхности, коэффициент размагничивания намагниченного участка поверхности изделия весьма велик, и соотношение (1) также справедливо. Таким образом, методы контроля по величине остаточной магнитной индукции очень тесно примыкают к коэрцитиметрическим методам [22].

1.4 Исследование магнитных свойств ферромагнетика при помощи гармонического анализа

1.4.1 Математическая основа Фурье анализа

Любую периодическую функцию можно представить в виде синуса или косинуса.

Ряд Фурье для функции с произвольным периодом описывается следующей формулой:

$$S(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot \cos \frac{n\pi x}{l} + b_n \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \quad (2)$$

где

$$a_0 = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) dx$$

$$a_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos \frac{n\pi x}{l} dx$$

$$b_n = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \sin \frac{n\pi x}{l} dx$$

Однако на практике чаще используют другую форму ряда Фурье:

$$S(x) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \sin \left(\frac{n\pi x}{l} + \gamma_n \right)$$

где

$$\varphi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n} - \text{фаза } n\text{-ой гармоники}$$

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} - \text{амплитуда } n\text{-ой гармоники}$$

Пусть функция $f(x)$ определена в интервале $[-\pi, \pi]$. Применяя формулы Эйлера:

$$\cos \varphi = \frac{e^{i\varphi} + e^{-i\varphi}}{2}$$

$$\sin \varphi = \frac{e^{i\varphi} - e^{-i\varphi}}{2i}$$

И подставив в (2) получим

$$S(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx) =$$

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \frac{e^{in\pi x/l} + e^{-in\pi x/l}}{2} + b_n \frac{e^{in\pi x/l} - e^{-in\pi x/l}}{2i} \right) =$$

$$\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n - ib_n}{2} \cdot e^{inx} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_n + ib_n}{2} \cdot e^{-inx} = \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{inx}$$

Используем следующие обозначения:

$$c_0 = \frac{a_0}{2}; c_n = \frac{a_n - ib_n}{2}; c_{-n} = \frac{a_n + ib_n}{2}$$

Так как ряд Фурье дискретен, n - целое число, то сумму заменяют интегралом Фурье $S(\omega)$, $S(x)$ – непрерывное преобразование Фурье

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} c(x) \cdot \exp \cdot (e^{-inx}) dx; \text{ - прямое преобразование Фурье}$$

$$S(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot \exp (e^{inx}) d\omega; \text{ - обратное преобразование Фурье}$$

Фурье-образы непрерывных непериодических функций вычисляются через интегралы. Представление таких функций через соответствующие им спектры также выражается через интегралы. Фурье-образы периодических функций выражаются в виде рядов. Если функция такова, что число членов ряда ограничено, то сама исходная функция может быть заменена выборкой без потери информации.

К использованию Фурье-преобразований, выражаемых через конечные ряды, прибегают в двух случаях. Во-первых, существует класс функций, для которых такие преобразования—точные. Во-вторых, коэффициенты Фурье и для более общего класса функций могут быть вычислены (хотя и приближенно) также с помощью дискретного преобразования Фурье.

Коммуникационные цифровые сигнальные процессоры используют дискретное Фурье-преобразование для решения задач обеих разновидностей. Например, для цифровой фильтрации необходимо вычислить спектр сигнала. Сигнал – непрерывная и, вообще говоря, непериодическая функция. Дискретное преобразование Фурье дает Фурье-образ сигнала с необходимой точностью, зависящей от двух параметров – временного интервала выборки и количества точек в выборке. Пример точной задачи, решаемой с помощью дискретного преобразования Фурье, это действия с конволюционными полиномами, проводимые с помощью быстрого дискретного преобразования

Фурье. Конволюционные полиномы используются в алгоритмах повышения помехозащищенности кода.

Возвращаясь к приближенным вычислениям, есть две возможности вычисления коэффициентов Фурье сигнала. Во-первых, можно вычислять интегралы приблизительно, заменяя интегралы рядами. Точность вычисления можно повышать с помощью интерполяционных формул, замен переменных (подстановки) и т.д. при фиксированном количестве точек выборки сигнала. Можно увеличивать и количество точек выборки сигнала. Вторая возможность состоит в использовании дискретного преобразования Фурье. Увеличение точности вычислений на этом пути достигается только увеличением количества точек выборки сигнала, зато появляется возможность использования эффективных вычислительных алгоритмов – алгоритмов быстрого преобразования Фурье.

Так как используемые в работе данные заданы в цифровой форме, то записывая реальный сигнал, используем прямое и обратное дискретное преобразование Фурье, которое задается формулой

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} s(n) \cdot \exp\left(e^{-inx} \cdot \frac{2\pi}{N}\right), k = 0..N - 1;$$
$$S(n) = \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \cdot \exp\left(e^{inx} \cdot \frac{2\pi}{N}\right), n = 0..N - 1;$$

Нормировочный множитель $1/N$ и знаки экспонент в прямом и обратном преобразовании Фурье – это соглашения, различающиеся в разных реализациях [23].

1.4.2 Применение метода высших гармоник в неразрушающем контроле

Если перемагничивание ферромагнетика производить переменным магнитным полем, изменяющимся по синусоидальному закону то, за счет

определяемой формой петли гистерезиса нелинейной зависимости $B(H)$ магнитная индукция будет изменяться во времени по несинусоидальному закону, а любую несинусоидальную функцию можно разложить в ряд Фурье, и выделить высшие нечетные гармонические составляющие (3, 5, 7 и т. д.)

Таким образом, высшие гармоники непосредственно связаны с формой петли гистерезиса. В свою очередь параметры петли гистерезиса (коэрцитивная сила H_c , остаточная индукция B_r , индукция насыщения B_s и т. д.) чувствительны как к химическому составу и к металлографической структуре ферромагнитного материала, так и к механическим воздействиям, термической обработке и другим видам воздействия на материал.

Следовательно, посредством измерения высших гармоник кривой индукции можно решить многие задачи, в частности, по контролю качества термической обработки и механических свойств ответственных деталей и изделий без разрушения. Этот метод, использующий для неразрушающего контроля анализ амплитуд и фаз гармонических составляющих, получил название метода высших гармоник (МВГ).

Небольшие изменения технологии термообработки и свойств изделия значительно изменяют параметры высших гармоник. Методы высших гармоник обладают высокой информационной способностью и чувствительностью к контролируемым параметрам, быстродействием, относительной простотой исполнения.

Наиболее широкое применение МВГ лежит в области контроля структуры (величина зерна, внутренние напряжения и т. д.), прочностных (например, твердость, предел прочности) и пластических (относительные значения удлинения, сужения) характеристик ферромагнитных материалов, а также контроля качества влияющих на структуру и фазовый состав материалов технологических обработок (закалка, отпуск, деформация и т. д.).[23]

В работе [24] определяется вид критерия физического подобия дискретных спектров намагниченности ферромагнитных сердечников, находящихся в постоянном и переменном магнитных полях. Использование

этих критериев позволяет отдельно проводить анализ влияния масштабных факторов и характера нелинейности кривой перемагничивания на закономерности гармонических составляющих намагниченности, что способствует более глубокому пониманию физической сущности рассматриваемых явлений.

В работах [25,26] проведен расчет амплитуд и фаз высших гармоник ЭДС во вторичной обмотке ферромагнитных сердечников с учетом магнитного гистерезиса, находящихся в переменных синусоидальных и слабых постоянных магнитных полях на основе арктангенсовой аппроксимации.

В работе [27] рассматривается возможность применения расчетов, полученных в [25,26], для решения некоторых вопросов неразрушающего контроля ферромагнитных изделий, в частности, в [27] решена задача, как по одной гармонике (второй или третьей) вторичной ЭДС найти основные параметры петли гистерезиса. В работе также показано, что для получения полной информации о реальной петле магнитного гистерезиса необходимо учитывать большое число гармоник вторичной ЭДС, однако для приближенного анализа возможностей контроля методом высших гармоник их число может быть значительно сокращено путем использования математических моделей кривых перемагничивания.

Проведенный анализ показывает, что во всех этих работах не учитывалось влияние механических напряжений на процессы происходящие в ферромагнитном материале.

В работах [28,29] были экспериментально и теоретически на кристаллах электротехнической стали изучены гармонические составляющие скорости изменения намагниченности при одновременном действии статистических и динамических напряжений, возникающих при изгибе консольно закрепленной пластины и постоянного намагничивающего поля. Среди достоинств такого подхода к описанию расчета гармоник ЭДС следует отметить возможность теоретически рассчитывать влияние механических напряжений, а к

недостаткам стоит отнести то, что предложенная аппроксимация является безгистерезисной.

В работах Зацепина [30-34] рассчитаны гармонические составляющие динамических параметров петли гистерезиса, в частности, решена аналитически задача определения любой гармонической составляющей динамической коэрцитивной силы ферромагнетика с учетом влияния поверхностного эффекта вихревых токов. Установлено, что на поверхности образца динамическая коэрцитивная сила 2-й гармоники пропорциональна квадрату статической коэрцитивной силы и зависит от начальной магнитной проницаемости, квазистатического нелинейного коэффициента. Также решена задача определения любой гармонической составляющей напряженности магнитного поля в вершинах петли с учетом поверхностного эффекта вихревых токов. Выведены количественные выражения комплексных амплитуд напряженности магнитного поля 1-й и 2-й гармоник и проанализированы их зависимости от глубины проникновения в образец.

При магнитном контроле для выявления поверхностных дефектов целесообразно использовать намагничивание изделий переменными полями различной частоты: при этом повышается чувствительность и снижается уровень помех, обусловленных структурными неоднородностями материала. Анализ гармонического состава ЭДС преобразователя показал, что он существенным образом меняется при наличии дефекта в изделии [35]. Если использовать высшие гармонические составляющие сигнала, то в ряде случаев чувствительность контроля оказывается значительно выше, чем при измерении 1-й гармоники.

Если одновременно с переменным магнитным полем, подмагничивать контролируемое изделие постоянным полем, то появляется возможность выявлять по переменной составляющей также и внутренние дефекты [36]. Используя при этом, помимо основной высшей гармоники, можно получить дополнительную информацию о размерах дефекта и его расположении под поверхностью изделия.

В работе [37] исследована возможность восстановления петель гистерезиса при измерении спектра сигнала измерительной катушки в двух вариантах: образец в виде кольца с тороидальной намоткой и цилиндрические образцы, помещенные в однородное переменное поле. Для указанной цели индукция в исследуемом образце рассматривается как функция времени и определяется в соответствии с равенством:

$$B(t) = \frac{\int_0^t U(t) \cdot dt}{S \cdot n}$$

где $U(t)$ – зависимость напряжения на измерительной катушке от времени t , S – площадь сечения образца, n – количество витков измерительной катушки.

Проведенный анализ показывает, что при помощи гармонического анализа в физике магнитных явлений решается довольно широкий класс задач.

1.4.3 Техническая реализация структуроскопов на основе метода высших гармоник

Система MAGNATEST D является наиболее часто используемой системой в мировой автомобильной промышленности для полностью автоматизированного магнитно-индуктивного контроля свойств материала.

Отличительной характеристикой данной системы является высокоэффективный анализ высших гармоник в ходе контроля структуры. Это позволяет уменьшить эффект от воздействия температуры и характеристик партии, а также снизить влияние таких факторов, как местоположение проверяемой детали и геометрических допусков к элементам конструкции. Кривую намагничивания при помощи преобразования Фурье можно разложить на основную гармонику и высшие гармоники. В частотный спектр входят все нечетные частоты, т. е. f_1 (основная гармоника), f_3 , f_5 , f_7 и пр. Путем анализа

высших гармоник можно получать дополнительную информацию о свойствах проверяемого материала. Внешний вид устройства показан на рисунке 7.



Рисунок 7 – Общий вид установки MAGNATEST D

MAGNATEST D имеет следующие технические характеристики: частота проверки 0,002 – 128 кГц; пропускная способность: 10 деталей/с при 1 кГц.[38]

В работе [39] рассмотрен прибор для измерения высших гармоник ИВГ-1. Принцип его работы основан на регистрации средневыпрямленного значения э.д.с. 3-й гармоники и величине ее фазового сдвига по отношению к току возбуждения. Средневыпрямленное значение ЭДС 3-й гармоники регистрируется с помощью электронного блока, снабженного стрелочным прибором, а величина фазового сдвига – измерителем разности фаз.

1.5 Выводы к главе

Проведенный анализ литературы показывает, что в настоящее время магнитный контроль параметров структурно фазового состояния ферромагнитных материалов занимает одну из лидирующих позиций в области структуроскопии.

Магнитные параметры ферромагнетиков, такие как: коэрцитивная сила (H_c), остаточная намагниченность (Br), индукция насыщения (B_s) и амплитуды

высших гармоник кривой индукции тесно коррелируют с физико-механическими свойствами металлов и сплавов. Имеющиеся в настоящее время установки, реализующие многопараметровый контроль вышеупомянутых параметров, находятся в трудной доступности, и не обладают достаточным спектром функций для полноценного исследования свойств ферромагнитных материалов.

Принимая во внимание данные факты, было принято решение проектирования собственной многопараметровой магнитной установки с возможностью измерения амплитуд высших гармоник кривой индукции и с учетом всех недостатков предшественников.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ»

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Соковец Константину Александровичу

Школа	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление	Приборостроение

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Приблизительная стоимость ресурсов научного проекта, составляет около 326150,76 руб.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Налоги рассчитать по упрощенной системе налогообложения, ставку дисконтирования принять равной 0,1, Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТП</i>	<i>Определение концепции проекта, факторов микро- и макросреды, анализ рынка продукта, экспертная оценка эффективности, SWOT-анализ</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Не разрабатывается</i>
<i>3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Планирование научно-технического проекта</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение ресурсной, финансовой, социальной и экономической эффективности исследования</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артём Георгиевич	к.и.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Соковец Константин Александрович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования рассмотрим целевой рынок и проведём его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, *сегмент рынка* – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга). Можно применять географический, демографический, поведенческий и иные критерии сегментирования рынка потребителей, возможно применение их комбинаций с использованием таких характеристик, как возраст, пол, национальность, образование, любимые занятия, стиль жизни, социальная принадлежность, профессия, уровень дохода.

В зависимости от категории потребителей (коммерческие организации, физические лица) необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Например, для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение; отрасль; выпускаемая продукция; размер и др.

Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст; пол; национальность; образование; уровень дохода; социальная принадлежность; профессия и др.

Из выявленных критериев целесообразно выбрать два наиболее значимых для рынка. На основании этих критериев строится карта сегментирования рынка.

Например, сегментировать рынок товаров для проведения магнитной структуроскопии можно по следующим критериям: размер компании-заказчика, род деятельности (таблица 4).

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка товаров для проведения магнитной структуроскопии

		Род деятельности		
		Металлургические компании	НИИ	НПО
Размер компании	Крупные	X	X	
	Средние	X	X	X
	Мелкие			X

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.

4.2 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.

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.п.);
- 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.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 5. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Таблица 5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0.09	5	5	5	0.45	0.45	0.45
2. Удобно в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.07	3	4	5	0.21	0.28	0.35
3. Помехоустойчивость	0.09	5	3	5	0.45	0.27	0.45
4. Энергоэкономичность	0.01	5	3	4	0.05	0.03	0.04
5. Надёжность	0.03	4	4	5	0.12	0.12	0.15
6. Уровень шума	0.07	5	2	5	0.35	0.14	0.35
7. Безопасность	0.07	5	4	5	0.25	0.28	0.35
8. Потребность в ресурсах памяти	0.01	4	5	5	0.04	0.05	0.05
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.02	4	3	4	0.08	0.06	0.08
10. Простота эксплуатации	0.04	5	4	4	0.2	0.16	0.08
11. Качество интеллектуального интерфейса	0.04	4	3	4	0.16	0.12	0.12
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.07	5	3	4	0.35	0.21	0.28
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0.1	4	4	5	0.4	0.4	0.5
2. Уровень проникновения на рынок	0.07	4	3	3	0.28	0.21	0.21
3. Цена	0.07	5	2	4	0.35	0.14	0.28
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.04	4	4	5	0.16	0.16	0.2
5. Послепродажное обслуживание	0.025	4	5	5	0.1	0.125	0.075
6. Финансирование научной разработки	0.05	4	5	5	0.2	0.25	0.25
7. Срок выхода на рынок	0.015	4	4	3	0.06	0.06	0.045
8. Наличие сертификации разработки	0.02	4	4	4	0.08	0.08	0.08
Итого	1				4.34	3.745	4.39

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5, 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:

$$K = \sum B_i B_i \quad (3)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, следует объяснить:

- чем обусловлена уязвимость позиции конкурентов и возможно занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка;
- в чем конкурентное преимущество разработки.

После расчёта средневзвешенного показателя, который составил 4.34, можно судить о том, что он сможет составить достойную конкуренцию на рынке.

4.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

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

- 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 сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в табл. 6.

Таблица 6 – 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.

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 7).

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

4.4 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта.

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

План - график проекта представлен в таблице 8.

Таблица 7 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Наличие бюджетного финансирования. С5. Квалифицированный персонал.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл3. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ Сл4. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытания опытного образца Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Использование инфраструктуры ОЭЗ ТВТ Томск В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Снижение таможенных пошлин на сырье и материалы, используемые при научных исследований В5. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Ключевыми сильными сторонами и возможностями являются высокая точность и надежность данного метода исследования, так как используется инновационное современное оборудование, для проведения опытов. Также имеется квалифицированный персонал способный работать с данным оборудованием.</p>	<p>Пожалуй, основным недостатком исследования является то, что электронная база материалов ещё мала, но это исправимо в ближайшем будущем.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Ограничения на экспорт технологии У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<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>Довольно серьезной угрозой для данной методики исследования является то, что на данный момент существует большое количество различных методов проведения стилоскопирования.</p>

Таблица 8 – Календарный план-график проведения НИОКР

Код работ	Вид работ	Исполнители	T_k , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ			
				Февр.	Март	Апр.	Май
1	Составление ТЗ	Руководитель	5				
2	Изучение литературы	Инженер (дипломник)	10				
3	Патентный поиск	Инженер (дипломник)	10				
4	Выбор направления исследования	Руководитель, инженер (дипломник)	3 3		 		
5	Разработка аппаратной части	Руководитель, инженер (дипломник)	10 10		 		
6	Программирование	Руководитель, инженер (дипломник)	9 9		 		
7	Проверка прибора	Инженер (дипломник)	7				
8	Проведение экспериментов	Инженер (дипломник)	15				
9	Анализ полученных результатов	Инженер (дипломник)	15				
10	Определение зависимостей	Инженер (дипломник)	12				
11	Написание отчета о проделанной работе	Руководитель, инженер (дипломник)	10 15				 

 руководитель
 студент

4.5 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения.

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат проводится по действующим ценам. В стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включены затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты по данной статье занесены в таблицу 9.

Таблица 9 – Сырьё, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Медная проволока	Ø 0,6 мм	1	1419	1419
Усилитель мощности	BAW M18MG-UAC80F-S04G	1	11 650	11 650
Плата сопряжения	NI USB 6002	1	20000	20000
Прочие расходы			1000	1000

Продолжение таблицы 9

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Всего за материалы				34069
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				1500
Итого по статье См				35569

2. Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, 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 10 - 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	30000,00
2	Модуль АЦП/ЦАП	1	22715,00	22715,00
3	Блок питания	1	6 586,83	6 586,83
4	Осциллограф	1	25 760,00	25 760,00
Итоговая сумма:				85058,83

4.6 Основная заработная плата

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). Расчет основной заработной платы сводится в таблице 11.

Таблица 11– Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоёмкость чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Составление ТЗ	Руководитель	5	1462.5	7312.5
2	Изучение литературы	Студент	10	269.2	2692
3	Патентный поиск	Студент	10	269.2	2692
4	Выбор направления исследования	Руководитель	3	1462.5	4387.5
		Студент	3	269.2	807.6
5	Разработка аппаратной части	Руководитель	10	1462.5	14625
		Студент	10	269.2	2692
6	Программирование	Руководитель	9	1462.5	13162.5
		Студент	9	269.2	2422,8
7	Проверка прибора	Студент	7	269.2	1884,4
8	Проведение экспериментов	Студент	15	269.2	4038

Продолжение таблицы 11

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоёмкость чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
9	Анализ полученных результатов	Студент	15	269.2	4038
10	Определение зависимостей	Студент	12	269.2	3230,4
11	Написание отчета о проделанной работе	Руководитель	10	1462.5	14625
		Студент	15	269.2	4038
Итого:					82647,7

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя и инженера (дипломника) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб},$$

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

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (таблица 24);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб.дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	71	71
- выходные дни	51	51
- праздничные дни	20	20
Потери рабочего времени на отпуск	48	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	294

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{дн.р}} = \frac{34595 \cdot 10,4}{246} = 1462,5 \text{руб.}$$

Среднедневная заработная плата исполнителя:

$$Z_{\text{дн.с}} = \frac{6595,7 \cdot 12}{294} = 269,2 \text{руб.}$$

Исходя из количества рабочих, основная заработная плата составит
для руководителя:

$$Z_{\text{осн.р}} = 1462,5 \cdot 37 = 54112,5 \text{руб.}$$

для студента:

$$Z_{\text{осн.и}} = 269,2 \cdot 106 = 28535,2 \text{руб.}$$

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Зм, руб	Здн, руб.	Тр, раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель	34595	1462.5	37	54112,5
Студент	6595.7	269.2	106	28535,2

4.7 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала составляет в среднем 12% от суммы основной заработной платы.

Таким образом, дополнительная заработная плата:

для руководителя:

$$З_{д,р} = 54112,5 \cdot 0.12 = 6493,5 \text{ руб.}$$

для исполнителя:

$$З_{д,и} = 28535,2 \cdot 0.12 = 3424,22 \text{ руб.}$$

В таблице 14 представлена заработная плата рабочей группы проекта.

Таблица 14 – Заработная плата исполнителей ВКР

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	54112,5	28535,2
Дополнительная зарплата	6493,5	3424,22
Итого	60606	31959,42
Итого по статье Сзп	92565,42	

4.8 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}),$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, составляет 30%.

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя:

$$C_{внеб} = 0.3 \cdot 60606 = 18181,8 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды для студента:

$$C_{внеб} = 0.3 \cdot 31959,42 = 9587,83 \text{ руб.}$$

Итого: 27769,63

4.9 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

На эту статью относится стоимость работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу данной научно-технической организации, результаты которых используются в конкретном НИИ. В таблице 15 представлены затраты на услуги сторонних организаций.

Таблица 15 – Затраты на услуги сторонних организаций

Услуга	Количество	Стоимость одной единицы, руб.	Сумма затрат, руб.
Распечатка на принтере формат А4	76	5	380
Доступ в Internet	4 месяца	390 (в мес.)	1560
Итого:			1940

4.10 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему.

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

Примем коэффициент накладных расходов $k_{\text{накл}}$ равным 90%,

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

$$C_{\text{накл}} = 0.9 \cdot 92565.42 = 83308,88 \text{ руб.}$$

Таблица 16 – Группировка затрат по статьям

№ п/п	Статьи затрат	Сумма, руб
1	Сырье, материал(за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	35569
2	Специальное оборудование для научных работ	85058,83
3	Основная заработная плата	82647,7
4	Дополнительная заработная плата	9917,72
5	Отчисления на социальные нужды	27769,63
6	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями	1940,00
7	Накладные расходы	83308,88
Итого плановая себестоимость		326150,76

Список публикаций студента

1. Соковец К.А., Проботюк В.В., Муратов К.Р. Выявление диагностического параметра предела выносливости стали // 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. 202-204.

http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/35025/1/conference_tpu-2016-C47_V1.pdf

2. Соковец К.А., Верпета М.Я. Измерительная установка для исследования возможностей методов магнитной структуроскопии // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 6 т., Тюмень, 24-28 апреля 2017. – Тюмень: ТИУ, 2017 – Т. 3 – С. 291-294

<https://www.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2017/04/Novye-tehnologii-Neftegazovomu-regionu.-Tom-3.pdf>

3. Соковец К.А., Верпета М.Я. Разработка установки для определения магнитных характеристик ферромагнетиков // 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. 62.

http://portal.tpu.ru:7777/science/konf/resurs/proceedings/Resurs_papers_2017.pdf