

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНО ИСЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление 12.03.01 «Приборостроение»
Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Вихретоковый дефектоскоп с накладным преобразователем для ручного контроля УДК 620.179.14

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6Б	Разуваев И.Н.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гольдштейн А.Е.	д-р техн. наук, профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	канд. экон. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Планируемые результаты освоения

Код	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные и общепрофессиональные компетенции</i>		
Р1	Эффективно работать индивидуально и в коллективе по междисциплинарной тематике, внедрять в практическую деятельность инновационные подходы для достижения конкретных результатов, обеспечивать корпоративные интересы и соблюдать корпоративную этику	Требования ФГОС (ОК-1,2,6,ОПК-4,ОПК-8) Критерий 5 АИОР (п. 1.6, 2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Применять основные законы и положения естественных наук и математики, экономических и гуманитарных наук знаний с учетом социальных и культурных аспектов инженерной деятельности при соблюдении требований охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности для ведения полноценной профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, ОПК-1, 3, 10) Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.3, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Осуществлять коммуникацию в профессиональной среде и в обществе, в т.ч. на иностранном языке	Требования ФГОС (ОК-5, 6, ОПК-8, ПК-17) Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Самообучаться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7, 8, 9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Собирать, хранить и обрабатывать информацию, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности при соблюдении основных требований информационной безопасности	Требования ФГОС (ОПК-2, 5-9) Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования, анализировать и обрабатывать их результаты с использованием инновационных методов моделирования и компьютерных сетевых технологий	Требования ФГОС (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п. 1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	Проектировать, конструировать системы, приборы, детали и узлы с учетом обеспечения технологичности конструкции с учетом возможных рисков	Требования ФГОС (ПК-1-6, 8) Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Проводить мероприятия комплексной подготовки производства в сфере профессиональной деятельности с использованием ресурсоэффективных технологий	Требования ФГОС (ПК-8-18) Критерий 5 АИОР (п. 1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	Обеспечивать эксплуатацию и обслуживание информационно-измерительных средств, приборов контроля качества и диагностики	Требования ФГОС (ПК-7, 19-23) Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНО ИСЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление 12.03.01 «Приборостроение»
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Б6Б	Разуваев И.Н.

Тема работы:

Вихретоковый дефектоскоп с накладным преобразователем для ручного контроля	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	20.02.2020, №51-59/с

Срок сдачи студентом выполненной работы	
---	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объект контроля Электропроводящие объекты плоской формы с поверхностными дефектами – типа прорезь, перпендикулярная поверхности изделия. Электропроводность 2-20 МСм. Относительная магнитная проницаемость 100-1000. Глубина прорези 0,3 - 0,7 мм. Раскрытие дефекта 0,1мм. Зазор 0-1,5 мм.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор методов дефектоскопии в соответствии с темой проекта. 2. Разработка структурной схемы дефектоскопа и алгоритма работы программы измерения. 3. Проведение экспериментальных исследований сигналов вихретокового дефектоскопа от параметров и значений объекта контроля. 4. Решение вопросов социальной ответственности. 5. Решение вопросов финансового менеджмента.
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент»	Рыжакина Татьяна Гавриловна
«Социальная ответственность»	Гуляев Милий Всеволодович
Названия разделов, которые должны быть выполнены на русском и иностранном языках:	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гольдштейн А.Е.	д-р техн. наук, профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6Б	Разуваев И.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б6Б	Разуваеву Ивану Николаевичу

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

Тема ВКР:

Вихретоковый дефектоскоп с накладным преобразователем для ручного контроля	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Объектом исследования является разработка вихретокового дефектоскопа с накладным преобразователем для ручного контроля с возможностью отстройки от зазора (18 корпус, 410 аудитория).
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность:	Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды: <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума на рабочем месте; – недостаточная освещённость рабочей зоны; – повышенный уровень напряженности электростатического поля и электромагнитных полей(ЭМП); – неудовлетворительный микроклимат; – электроопасность.

3. Экологическая безопасность:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы, утилизация компьютерной техники и периферийных устройств); – решение по обеспечению технологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предубеждению ЧС; – разработка действий в результате возникновения ЧС и мер по ликвидации её последствий;

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель отделения общетехнических дисциплин	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6Б	Разуваев Иван Николаевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б6Б	Разуваеву Ивану Николаевичу

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

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ) материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1. Работа с литературными источниками. 2. Методические указания по разработке раздела. 3. Нормативные справочники. 4. Налоговый кодекс РФ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	1. Определить целевой рынок, потенциальных потребителей результатов исследования. 2. Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке. 3. Описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы, посредством SWOT-анализа.
2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определить цели и ожидания, требования проекта. Выявить возможные альтернативы автоматических систем управления светом.
3. Планирование научно-исследовательских работ	1. Определить структуры работ в рамках научного исследования. 2. Определение трудоемкости выполнения работ.

	3. Разработка графика проведения научного исследования в форме диаграммы Ганта.
4. Бюджет научно-технического исследования	1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования. 2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ. 3. Расчет основной заработной платы исполнителей темы. 4. Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы. 5. Расчет отчислений во внебюджетные фонды. 6. Учет накладных расходов. 7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.
5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Вывести интегральные показатели эффективности трех вариантов исполнения научного исследования. Определить самый эффективный вариант исполнения.
Перечень графического материала:	
1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения НТИ 4. Таблица бюджета затрат на научно-исследовательский проект	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Рыжакина Татьяна Гавриловна	канд. экон. наук, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б6Б	Разуваев Иван Николаевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 80 с., 33 рис., 22 табл., 24 ист. 3 прил.

Ключевые слова: вихретоковый неразрушающий контроль, вихретоковый преобразователь, вихревые токи, годограф вносимого напряжения, дефект, диэлектрическое покрытие, электропроводящий материал.

Объектом исследования является вихретоковый дефектоскоп с накладным преобразователем для ручного контроля.

Цель работы – рассмотрение методов дефектоскопии изделий из электропроводящих материалов с диэлектрическим покрытием и разработка вихретокового дефектоскопа с накладным преобразователем для ручного контроля, позволяющего определять геометрические параметры дефектов.

В ходе исследования проводились практические эксперименты.

Основные конструктивные, технологические и техникоэксплуатационные характеристики: объект контроля ферромагнитные объекты с дефектами типа прорезь глубиной до 0,7мм шириной раскрытия 0,1мм. Размер диэлектрического покрытия от 0 до 1,5мм.

Степень внедрения: лабораторные исследования.

Область применения: неразрушающий контроль в нефтегазовой и автомобильной промышленности.

Экономическая эффективность/значимость работы: стадия научного исследования.

В будущем планируется реализовать устройство в портативном исполнении.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

- δ – глубина проникновения электромагнитного поля в объект контроля, мм;
- ω – круговая частота тока возбуждения, рад/с;
- σ – удельная электрическая проводимость материала, См/м);
- μ – абсолютная магнитная проницаемость материала, Гн/м;
- R – радиус обмоток вихретокового преобразователя, мм;
- T – толщина объекта контроля, мм;
- h – толщина диэлектрического покрытия или размер зазора между объектом контроля и преобразователем, мм;
- s – глубина дефекта, мм;
- l – длина дефекта, мм;
- d – глубина залегания дефекта, мм;
- $Re(U)$ – действительная составляющая сигнала U с вихретокового преобразователя, В;
- $Im(U)$ – мнимая составляющая сигнала U с вихретокового преобразователя, В;
- A – амплитуда сигнала с вихретокового преобразователя, В;
- φ – фаза сигнала с вихретокового преобразователя, °;
- ОК – объект контроля;
- ВТП – вихретоковый преобразователь;
- ПИП – первичный измерительный преобразователь;
- ИВН – измеритель вносимого напряжения;
- ЭВМ – электронно-вычислительная машина;
- ЭМП – электромагнитные поля;
- НИ – научное исследование.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	13
1. Обзор	14
1.1. Виды контроля металлических изделий с диэлектрическим покрытием	14
1.1.1. Магнитный контроль	14
1.1.2. Акустический контроль	15
1.1.3. Радиационный контроль	16
1.2. Вихретоковый неразрушающий контроль	16
1.2.1. Физические основы метода	16
1.2.2. Определение параметров вихревых токов	18
1.2.3. Классификация вихретоковых преобразователей	19
1.2.4. Конструкции вихретоковых преобразователей	23
1.2.5. Обработка сигналов с вихретоковых преобразователей	28
1.2.6. Способы отстройки сигнала с преобразователя от зазора	33
1.2.7. Современные вихретоковые дефектоскопы	35
2. Разработка вихретокового дефектоскопа с отстройкой от зазора	38
2.1. Устройство дефектоскопа	38
2.2. Алгоритм обработки данных	39
2.3. Выбор оптимальной частоты тока возбуждения	40
2.4. Исследование влияния зазора на выходной сигнал с преобразователя и выбор аппроксимирующей функции преобразования	43
2.5. Определение коэффициента влияния зазора на значения сигнала с вихретокового преобразователя от дефектов	47
3. Социальная ответственность	48

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ...	48
3.2. Производственная безопасность	49
3.2.1. Анализ потенциально возможных и опасных факторов.....	49
3.2.2.Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов	50
3.3. Экологическая безопасность.....	52
3.3.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду .	52
3.3.2. Способы уменьшения воздействия вихретокового дефектоскопа на окружающую среду.....	53
3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	53
3.4.1. Анализ вероятных чрезвычайных ситуаций и выбор наиболее вероятной чрезвычайной ситуации	53
3.4.2. Превентивные меры по предубеждению наиболее вероятной чрезвычайной ситуации.....	54
3.4.3. Действия в результате возникновения наиболее вероятной чрезвычайной ситуации и меры по ликвидации её последствий.....	54
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	55
4.1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	55
4.1.1.Определение целевого рынка, потенциальных потребителей разрабатываемого устройства.....	55
4.1.2. Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке .	55
4.1.3. SWOT-анализ.....	57
4.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований. Определение трудоемкости выполнения работ	60

4.3. Планирование научно-исследовательских работ.....	61
4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования	61
4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ	62
4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	65
4.4. Бюджет научно-технического исследования	67
4.4.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования.....	67
4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	68
4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы	68
4.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	70
4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды	70
4.4.6. Накладные расходы	71
4.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	72
4.5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	72
Заключение	75
Список использованной литературы.....	76
Приложение А – Определение оптимальной частоты тока возбуждения.....	78
Приложение Б – Зависимость выходного сигнала ВТП от значений зазора ..	80
Приложение В – Зависимость выходного сигнала ВТП от значений зазора при дефекте глубиной 0,5мм	80

ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке земное население окружает огромное количество изделий, механизмов, машин и т.д. Как и всё в нашем мире, вещам, созданным человеком, свойственно разрушаться. В частности, поломка трубы в квартире приносит убытки хозяину, а если по трубе будет идти не вода, а нефть или газ, то помимо огромных финансовых потерь, ущерба экологии, возможна также и гибель людей. Невосполнимые человеческие жертвы возможны при разрушениях опор мостов, деталей летательных аппаратов во время эксплуатации и др. техногенных катастрофах.

Для предотвращения поломок и, как следствие, всех неблагоприятных последствий, люди разработали методы неразрушающего контроля (дефектоскопия). Данная наука занимается изучением методов и созданием средств и устройств для проведения неразрушающего контроля, с целью обнаружения дефектов.

Одними из распространённых материалов, которые использует человек с древних времен, являются металлы. Для продления срока службы металлических изделий, применяют лакокрасочные, полимерные, гальванические и другие типы защитных покрытий, что усложняет поиск дефектов.

В настоящее время в неразрушающем контроле применяется ряд методов, позволяющих контролировать качество металлических изделий. Особый интерес представляет вихретоковый метод, основанный на явлении возникновения вихревых токов в проводящих материалах и зависимости параметров магнитного поля вихревых токов от характеристик объекта контроля, что позволяет контролировать металлические объекты с любым диэлектрическим покрытием.

Целью работы является рассмотрение методов дефектоскопии изделий из электропроводящих материалов с диэлектрическим покрытием и разработка вихретокового дефектоскопа с накладным преобразователем для ручного контроля, позволяющего определять геометрические параметры дефектов.

1. ОБЗОР

1.1. Виды контроля металлических изделий с диэлектрическим покрытием

1.1.1. Магнитный контроль

Магнитный метод контроля предназначен для поиска поверхностных и подповерхностных дефектов. Данный метод основан на явлении возникновения полей рассеяния на поверхности объекта контроля (ОК) в местах наличия дефектов и неоднородностей (Рисунок 1.1).

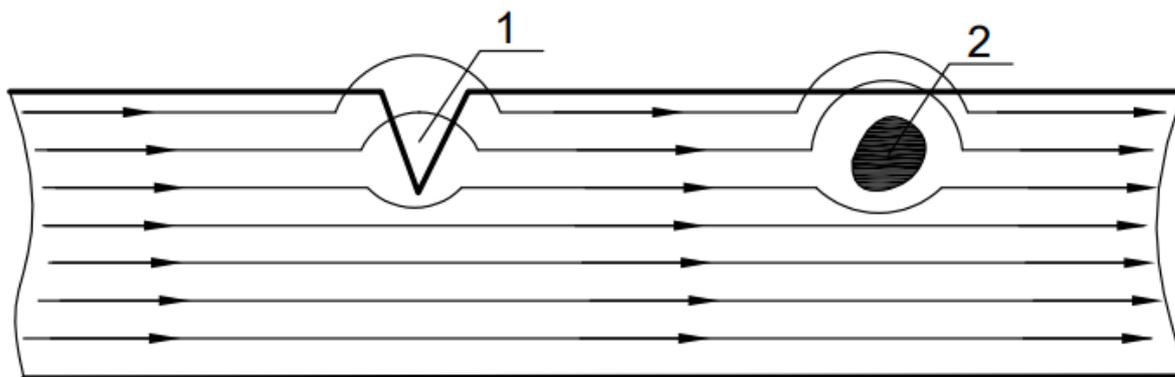


Рисунок 1.1 – Образование полей рассеяния
Примечание: 1 – дефект; 2 – неоднородность

Использование магнитного порошка является наиболее простым методом фиксации полей рассеяния. Он оседает на объекте контроля повторяя контур дефекта.

Фиксировать поля рассеяния возможно с помощью катушки индуктивности и закона Фарадея [5]. Контролируемое изделие намагничивают, после чего по поверхности объекта проводят катушкой индуктивности. В тот момент времени, когда преобразователь будет пересекать область с дефектом в катушке под действием полей рассеяния, возникнет ЭДС по значению которой определяется наличие дефекта и его габаритные характеристики.

Достоинства метода

- Возможность автоматизации контроля при использовании катушек.
- Значительная скорость и простота.
- Отсутствие необходимости в контакте между поверхностью контроля и датчиком.
- Высокая чувствительность.

Недостатки метода

- Влияние неравномерности магнитных свойств материалов на результаты исследований.
- Возможность контролировать только ферромагнитные материалы.
- Высокие требования к качеству поверхности объекта исследования.

1.1.2. Акустический контроль

Акустический метод неразрушающего контроля использует для исследования ОК упругие колебания, которые возникают в результате работы объекта или создаются с помощью внешнего устройства.

В качестве внешнего источника упругих колебаний выступают электроакустические преобразователи. Сгенерированная волна проходит через ОК, отражается от противоположной стенки объекта и возвращается на электроакустический преобразователь, который преобразует акустическую волну в электрический сигнал. Регистрация сигнала возможна как с помощью того же преобразователя, что и возбуждает колебания, так и с помощью независимого преобразователя. Выводы по ОК получают в результате анализа отраженного сигнала: амплитуда, время между возбуждающим и отраженным сигналами.

Данным методом возможно определить толщину объекта, наличие дефектов и материал из которого изготовлен объект.

Достоинства метода

- Низкая стоимость контроля.
- Контроль поверхностных и внутренних дефектов.
- Безопасность метода.
- Контроль металлических и неметаллических изделий.

Недостатки метода

- Трудность определения характера дефекта и его реальных размеров.
- Низкая чувствительность к поверхностным дефектам.
- Трудоёмкость контроля изделий малых размеров и сложной конфигурации.

1.1.3. Радиационный контроль

Радиационный неразрушающий контроль – вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе ионизирующего излучения после взаимодействия с контролируемым объектом [11].

При прохождении ОК ионизирующее излучение взаимодействует с атомами и электронными оболочками изделия. Взаимодействие приводит к изменениям характеристик излучения, по которым возможно обнаружить дефекты и определить материал и габаритные параметры ОК.

Достоинства метода

- Возможность контроля движущихся объектов.
- Отсутствие контакта с объектом контроля.
- Отсутствие ограничения в материале объекта контроля.
- Глубина контроля более 500мм.

Недостатки метода

- Необходимость обеспечивать радиационную безопасность.
- Высокая стоимость.

1.2. Вихретоковый неразрушающий контроль

1.2.1. Физические основы метода

Вихретоковый метод неразрушающего контроля основан на явлении возникновения вихревых токов в проводящих материалах под действием переменного магнитного поля.

Первым вихревые токи обнаружил Д.Ф. Араго. Позднее М. Фарадей объяснил явления возникновения токов, используя закон электромагнитной индукции, а первые значимые исследования свойств вихревых токов провёл французский физик Ж.Б. Фуко, в честь которого данные токи и были названы [4].

Возникают вихревые токи в результате изменения магнитного потока, приложенного к проводящему объекту во времени. В дефектоскопии генерация токов Фуко осуществляется путём изменения магнитного поля во времени, но также возможна генерация путём изменения положения объекта в неизменяющемся магнитном поле.

Переменное магнитное поле, генерирующее вихревые токи, называется возбуждающим и создаётся с помощью катушки, питание которой осуществляется источником переменного или импульсного тока. Токи Фуко сцепляются с индуцирующим их магнитным полем, образуя вихревые контуры в проводящих объектах (Рисунок 1.2).

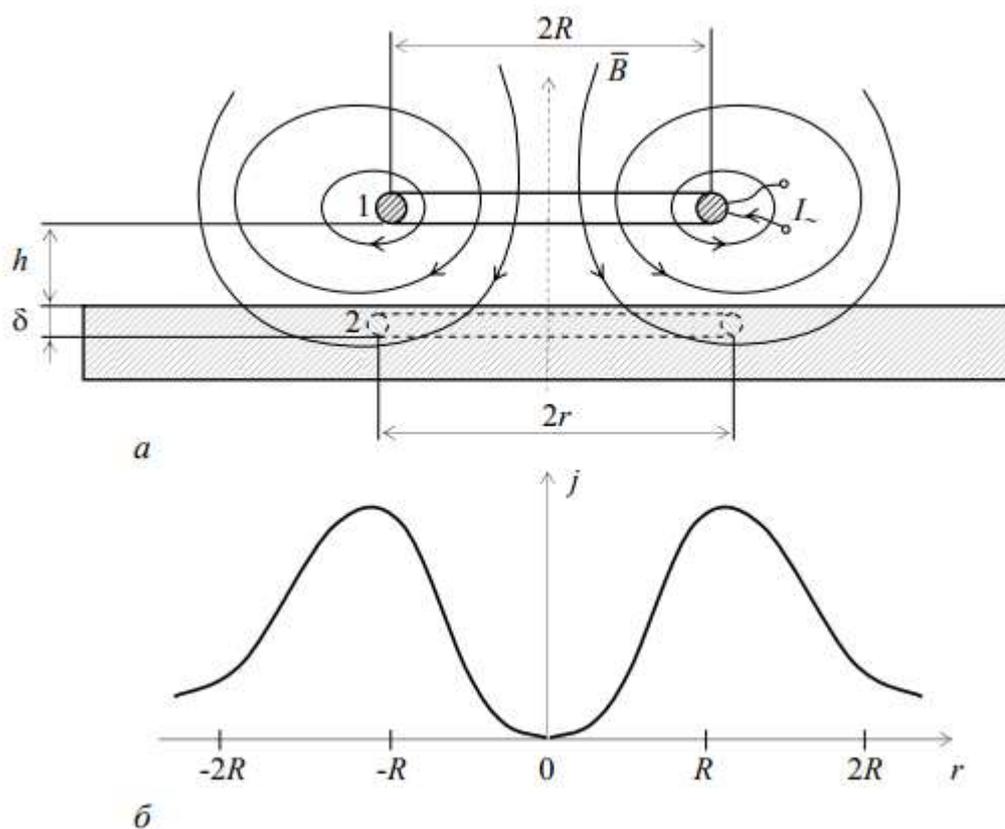


Рисунок 1.2 – Возбуждение вихревых токов переменным магнитным полем круглой обмотки с током (а) и радиальное распределение плотности вихревых токов в электропроводящем объекте (б)

В связи с тем, что токи Фуко непостоянны во времени, в контролируемом изделии возникает скин-эффект. Причиной возникновения эффекта является неравномерность распределения магнитного поля в объекте контроля. Исходя из закона Ленца, вихревые токи стремятся скомпенсировать возбуждающее магнитное поле, в результате чего магнитное поле токов Фуко вытесняет из изделия магнитное поле катушки, что ограничивает область проникновения токов. Глубина проникновения зависит от частоты тока возбуждения и магнитной проницаемости и электрической проводимости ОК. Глубину проникновения можно оценить по

формуле (1.1) где величина δ соответствует изменению напряженности в e раз относительно напряжённости на поверхности изделия.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}}, \quad (1.1)$$

где δ – глубина проникновения электромагнитного поля; ω – круговая частота тока возбуждения; σ – удельная электрическая проводимость материала; μ – абсолютная магнитная проницаемость материала.

1.2.2. Определение параметров вихревых токов

Оценка состояния изделия вихретоковым неразрушающим контролем осуществляется путём анализа электромагнитного поля вихревых токов и его взаимодействие с полем катушки возбуждения.

Измерение полей вихревых токов возможно осуществить двумя способами: параметрическим и трансформаторным.

В параметрическом методе, измерение магнитного поля вихревых токов осуществляется с использованием катушки индуктивности, которая одновременно с измерением возбуждает вихревые токи (Рисунок 1.3 б). Магнитное поле токов Фуко воздействует на обмотку, тем самым уменьшает её собственную индуктивность. Таким образом, параметры ОК в данном методе определяются по изменению собственной индуктивности катушки.

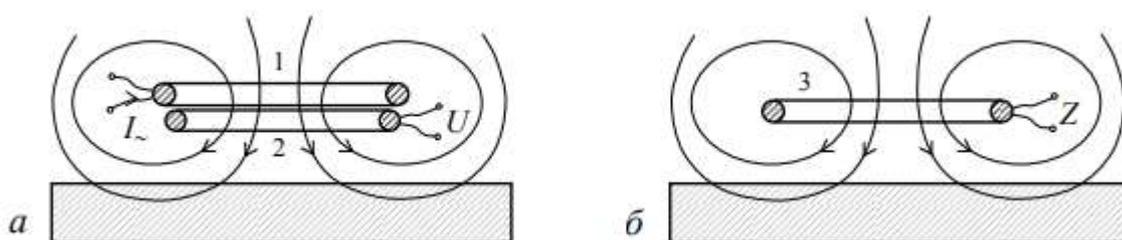


Рисунок 1.3– Вихретоковые преобразователи

Примечание: а) трансформаторный; б) параметрический
1 – катушка возбуждения; 2– измерительная катушка; 3 – катушка индуктивности

Измерение магнитного поля в трансформаторном методе осуществляется с помощью дополнительной измерительной катушки (Рисунок 1.3 а). Магнитное поле

вихревого тока и возбуждающей катушки складываются и воздействуют на измерительную обмотку в результате чего на контактах которой образуется напряжение, по анализу которого производят определение параметров ОК.

1.2.3. Классификация вихретоковых преобразователей

Вихретоковые преобразователи (ВТП) распределяют по двум критериям: способу измерения поля вихревых токов (Рисунок 1.4) и расположению относительно ОК (Рисунок 1.5).

Как было сказано выше, по способу измерения полей вихревых токов, преобразователи разделяют на параметрические и трансформаторные. Оба раздела так же можно разделить на абсолютные, имеющие одну измерительную обмотку, и дифференциальные, у которых полезный сигнал получается путём сложения сигналов с нескольких измерительных обмоток.



Рисунок 1.4 – Классификация вихретоковых преобразователей по способу измерения полей вихревых токов

По положению ВТП относительно ОК разделяют на проходные, накладные и комбинированные (Рисунок 1.5).

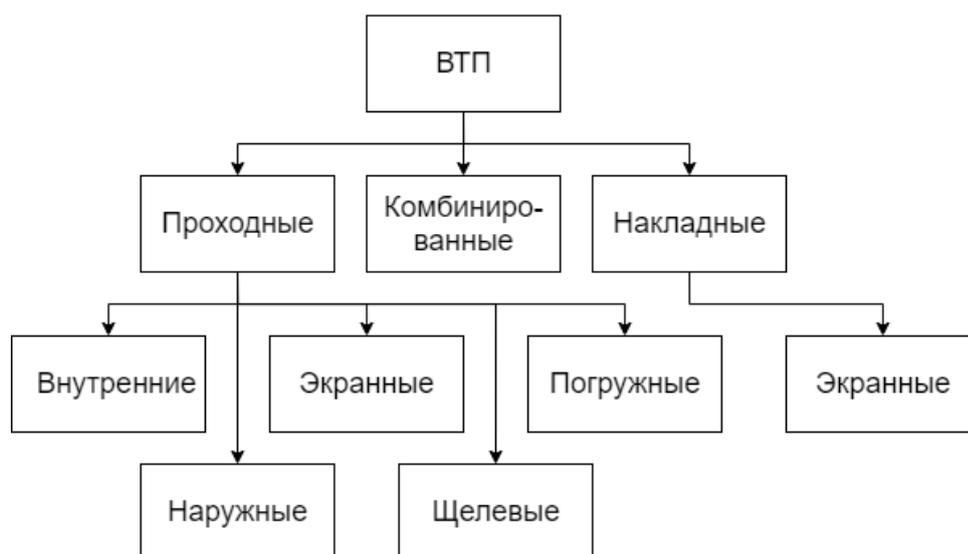


Рисунок 1.5 – Классификация вихретоковых преобразователей по расположению относительно объекта контроля

Накладные преобразователи размещаются непосредственно вблизи ОК. Чаще всего данный тип преобразователей располагают таким образом, чтобы ось симметрии обмоток была перпендикулярна объекту контроля, то есть прикладывают торцом (Рисунок 1.6 а). Существуют так же накладные ВТП, у которых оси катушек расположены параллельно ОК (Рисунок 1.6 б).

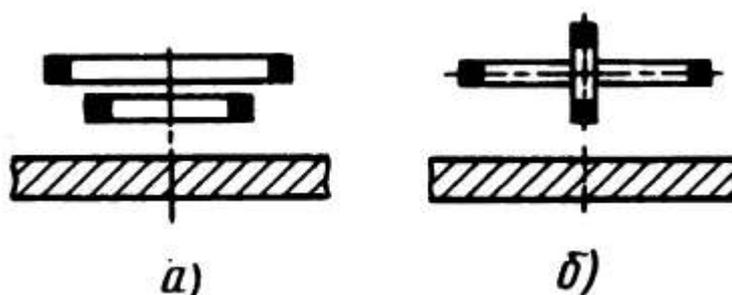


Рисунок 1.6 – Накладные вихретоковых преобразователей
Примечание: а) с параллельным расположением измерительной обмотки;
б) перпендикулярным расположением измерительной обмотки

Отдельно стоит вынести экранные накладные преобразователи (Рисунок 1.7). Особенностью данного типа преобразователей является расположение измерительной и возбуждающей обмоток по разные стороны относительно ОК. Из-за особенности распространения вихревых токов на поверхности изделия данные преобразователи применяются только для контроля листовых материалов.

Недостатком данной конструкции является необходимость двухстороннего доступа к ОК.

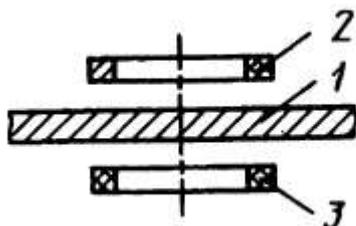


Рисунок 1.7 – Экранный накладной преобразователь
Примечание: 1 – объект контроля; 2 – возбуждающая обмотка; 3 – измерительная обмотка

Проходные ВТП разделяют на внутренние, наружные, экранные, щелевые и погружные. Отличаются проходные преобразователи от накладных тем, что отсутствует контакт с ОК.

Проходные внутренние ВТП (Рисунок 1.8 а) располагаются внутри ОК, обычно применяются для контроля труб. Погружные преобразователи (Рисунок 1.8 б) помещаются непосредственно в жидкую электропроводящую среду, которую необходимо контролировать.

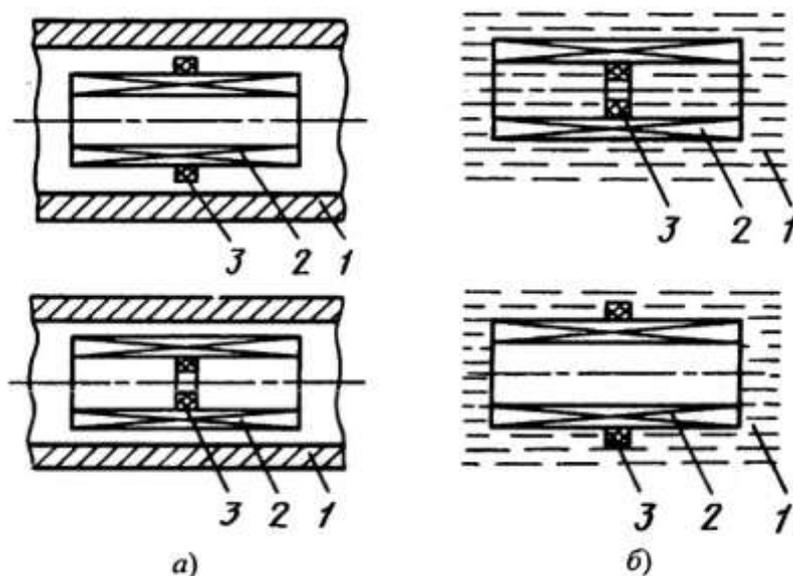


Рисунок 1.8 – Проходные вихретоковые преобразователи
Примечание: а) внутренние; б) погружные; 1 – объект контроля; 2 – катушка возбуждения; 3 – измерительная катушка

Наружные проходные преобразователи охватывают объект контроля (Рисунок 1.9 а). Используется данный тип преобразователей для контроля линейно-протяженных объектов.

Проходные экранные преобразователи имеют те же особенности конструкции, что и экранные накладные: измерительная и возбуждающая обмотки располагаются по разные стороны объекта контроля (Рисунок 1.9 б).

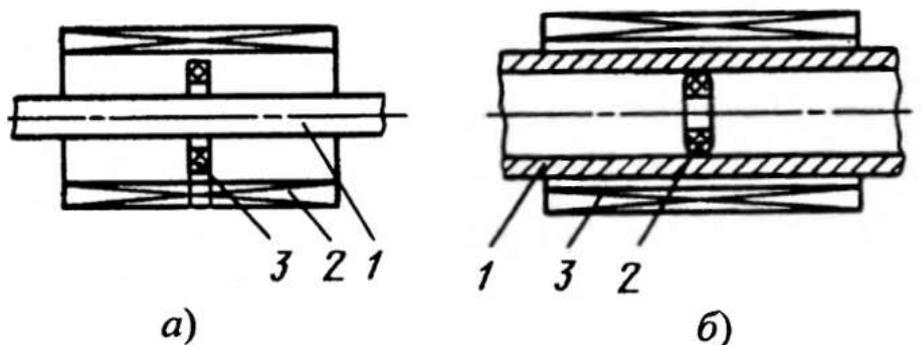


Рисунок 1.9 – Проходные вихретоковые преобразователи
Примечание: а) наружные; б) экранные; 1 – объект контроля; 2 – катушка возбуждения; 3 – измерительная катушка

Особенностью щелевых ВТП (Рисунок 1.10) является то, что только магнитопровод обхватывает ОК, когда измерительная и возбуждающая обмотки расположены отстранённо от него.

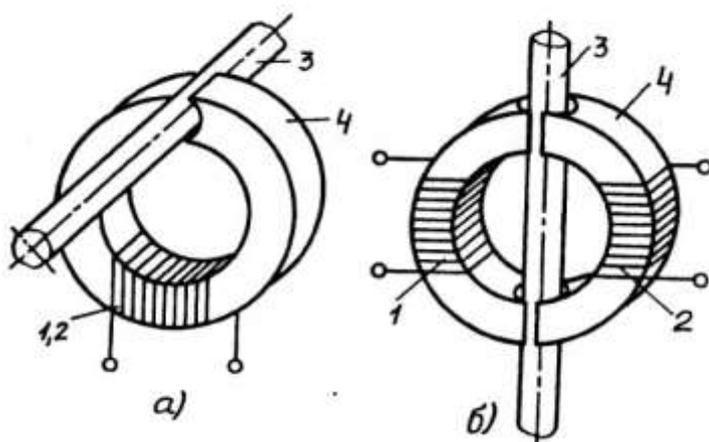


Рисунок 1.10 – Щелевые вихретоковые преобразователи
Примечание: а) параметрический; б) трансформаторный; 1 – катушка возбуждения; 2 – измерительная катушка; 3 – объект контроля; 4 – магнитопровод

Комбинированные ВТП представляют из себя комбинацию проходных возбуждающих и накладных измерительных обмоток. Данная конфигурация позволяет производить исследования ОК в более узкой зоне и имеет повышенную чувствительность к мелким дефектам в сравнении с накладными и проходными преобразователями.

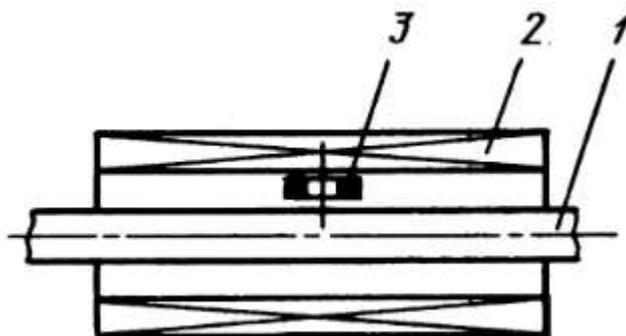


Рисунок 1.11 – Комбинированный вихретоковые преобразователи с проходной возбуждающей и накладной измерительной обмоткой

Примечание: 1 – объект контроля; 2 – катушка возбуждения; 3 – измерительная катушка

Преобразователи внутренние, наружные щелевые и погружные могут изготавливаться как в параметрическом исполнении, так и в трансформаторном. Преобразователи экранного изготавливаются только в трансформаторном исполнении в связи с особенностями метода диагностики.

1.2.4. Конструкции вихретоковых преобразователей

Сердечники

Для улучшения характеристик ВТП и упрощения работы разработано огромное количество всевозможных преобразователей.

Одним из конструкторских улучшений является установка сердечника в преобразователь. Ферромагнитный сердечник благоприятно влияет на измерения, повышая чувствительность к изменению параметров ОК. Также немаловажной особенностью сердечников является то, что они позволяют локализовать магнитное поле и следовательно зону контроля, что значительно упрощает поиск дефектов.

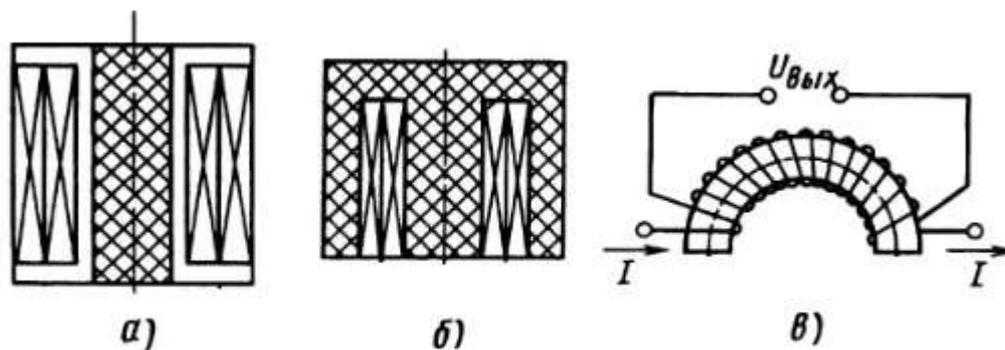


Рисунок 1.12 – Накладные преобразователи с сердечниками
 Примечание: а) цилиндрическим; б) полубронзового типа; в) виде полуторойда

Компенсаторы и компенсационные обмотки

На измерительную обмотку, кроме магнитных полей вихревых токов, так же влияет и поле обмотки возбуждения, в связи с чем на выходе преобразователя (Рисунок 1.3 а) всегда есть начальное напряжение. Исключить это напряжение возможно двумя способами: технологическим и программным.

Программный способ осуществляется с помощью дефектоскопа. Прибор запоминает значение напряжения с ВТП в момент отсутствия ОК, после чего вычитает это значение из сигнала во время измерений.

Технологический способ предлагает исключить влияние возбуждающей катушки с помощью добавления компенсационной обмотки (Рисунок 1.13). Компенсационная обмотка может быть, как возбуждающей, так и измерительной. В первом случае обмотка подключается последовательно к возбуждающей обмотке и располагается симметрично относительно измерительной катушки. Магнитные поля двух возбуждающих катушек компенсируются, в результате чего напряжение на выходе преобразователя при отсутствии ОК равняется нулю.

При использовании измерительной компенсационной обмотки, в центре помещается катушка возбуждения, а две измерительные обмотки располагаются симметрично относительно её. При подключении измерительной обмотки в противофазу, напряжение на катушках будет складываться и обнуляться.

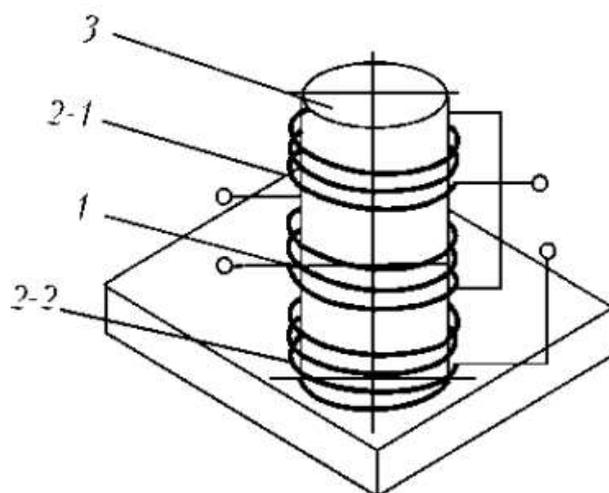


Рисунок 1.13 – Дифференциальный вихретоковые преобразователи с компенсацией возбуждающего магнитного поля

Примечание: 1 – обмотка возбуждения; 2 – измерительная обмотка; 3 – ферритовый сердечник

При поиске дефектов для исключения напряжения от бездефектной части ОК возможно применение компенсатора (Рисунок 1.14). Изготавливается компенсатор из того же материала, что и объект контроля. Габаритные параметры подбираются таким образом, чтобы компенсатор был компактным, а магнитное поле его вихревых токов компенсировало магнитное поле исследуемого изделия на бездефектной части.

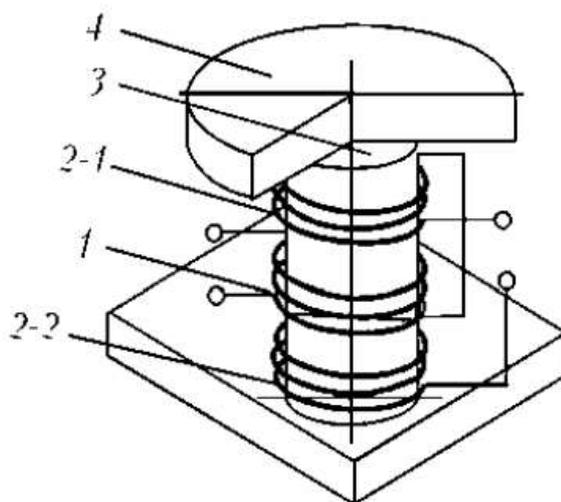


Рисунок 1.14 – Дифференциальный вихретоковые преобразователи с компенсацией возбуждающего магнитного поля и компенсатором

Примечание: 1 – обмотка возбуждения; 2 – измерительная обмотка; 3 – ферритовый сердечник; 4 – компенсатор

Дифференциальные и мультидифференциальные вихрековые преобразователи

Для уменьшения влияния перекоса преобразователя и стабилизации выходного сигнала, созданы дифференциальные и мультидифференциальные ВТП.

Дифференциальные ВТП – это преобразователи, имеющие две измерительные обмотки. Основным плюсом данной группы преобразователей является уменьшение влияния на полезный сигнал изменения размера диэлектрического покрытия [1].

Дифференциальные преобразователи в преобладающем числе имеют анаксиальную конструкцию, то есть оси симметрии возбуждающих обмоток не совпадают с осями измерительных обмоток, при этом измерительные обмотки соединяются последовательно и могут быть расположены как внутри возбуждающей обмотки (Рисунок 1.15 а), так и снаружи (Рисунок 1.15 б) [4].

Данные конструкции позволяют компенсировать влияние возбуждающего магнитного поля на измерительные обмотки. Для уменьшения влияния, возможно измерительные обмотки продублировать, подключив новые обмотки в противофазу уже установленным.

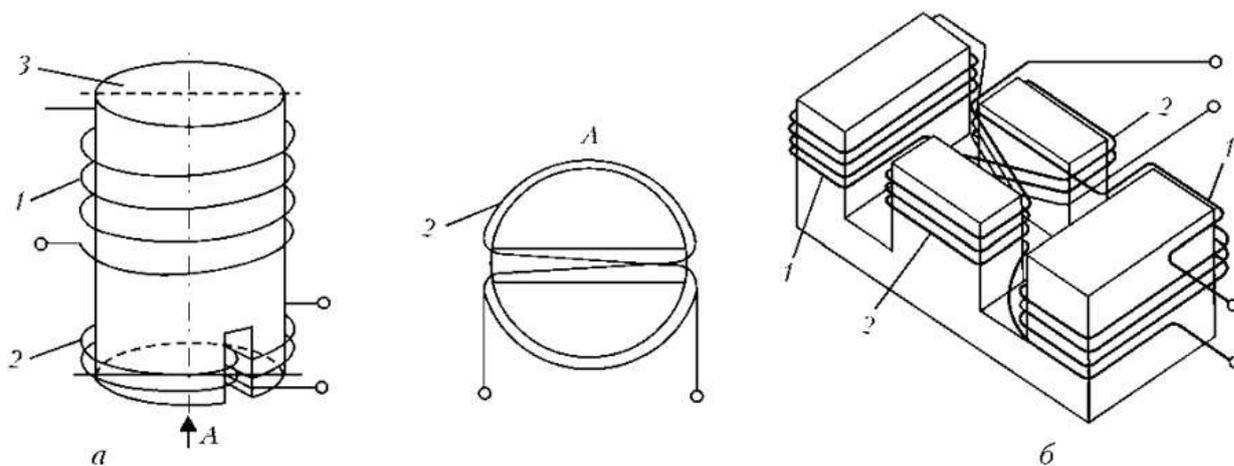


Рисунок 1.15 – Вихрековые преобразователи с внутренним (а) и внешним (б) расположением измерительных обмоток

Примечание: 1 – обмотка возбуждения; 2 – измерительная обмотка; 3 – ферритовый сердечник

Создать дифференциальный преобразователь возможно так же с использованием двух возбуждающих обмоток (Рисунок 1.16). Возбуждающие поля в

области измерительной обмотки будут складываться, компенсируя друг друга, тем самым исключая влияния возбуждающих обмоток на измерительную.

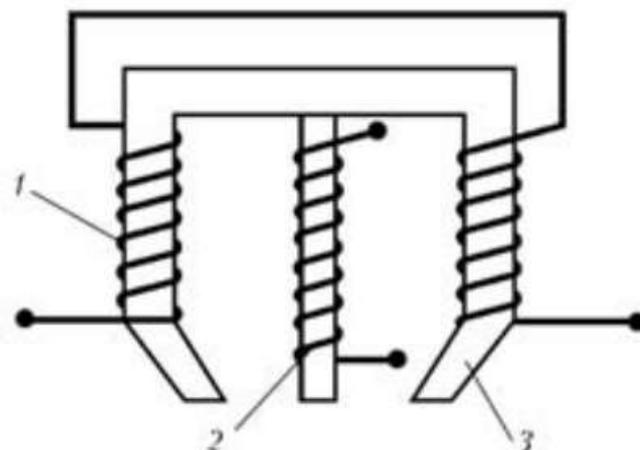


Рисунок 1.16 – Дифференциальный вихретоковые преобразователи с двумя возбуждающими обмотками

Примечание: 1 – обмотка возбуждения; 2 – измерительная обмотка; 3 – ферритовый сердечник

Мультидифференциальные преобразователи включают в себя две и более пар измерительных обмоток, соединённых последовательно, что приводит к операции двойного дифференцирования (Рисунок 1.17). Помимо возможности уменьшить влияние изменения диэлектрического покрытия, данный тип ВТП менее подвержен к воздействию перекоса преобразователя, то есть не совпадению плоскостей ВТП и ОК.

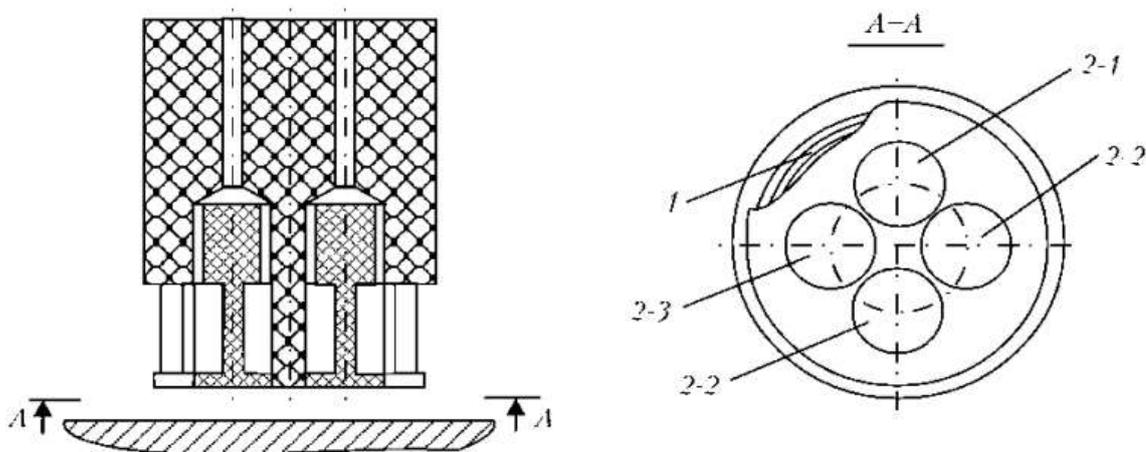


Рисунок 1.17 – Мультидифференциальный вихретоковые преобразователи

Примечание: 1 – обмотка возбуждения; 2 – измерительная обмотка; 3 – ферритовый сердечник

Матричные вихретоковые преобразователи

Значительным прорывом в вихретоковом контроле являются матричные ВТП. Данный тип преобразователей состоит из группы одиночных ВТП, включенных определенным образом и работающих в строгой последовательности или одновременно. Данные преобразователи значительно увеличивают скорость проведения дефектоскопических работ. Так же матричные ВТП имеют большую чувствительность к дефектам и увеличенную глубину распространения вихревых токов в сравнение с одиночными преобразователями.

1.2.5. Обработка сигналов с вихретоковых преобразователей

Как сказано в пункте 1.2.2, информация об ОК с преобразователя может быть представлена в виде изменения собственной индуктивности или изменения переменного напряжения на выходных контактах.

Из-за того, что измерить индуктивность обмотки преобразователя значительно сложнее напряжение, в современной дефектоскопии предпочтение отдаётся трансформаторным ВТП, преобразующим магнитное поле вихревых токов в переменное напряжение.

Из трёх параметров выходного сигнала для анализа ОК используются только амплитуда и разность фаз относительно возбуждающего сигнала. На частоту выходного сигнала объект контроля не оказывает никакого воздействия, и зависит она только от частоты сигнала возбуждения.

Для удобства анализа данных с преобразователей значение сигнала раскладывают на мнимую и вещественную составляющие и наносят на годограф.

Годограф – кривая на комплексной плоскости, соединяющая концы вектора переменного выходного напряжения преобразователя.

На выходное напряжения влияют такие факторы как:

- ω – круговая частота тока возбуждения;
- σ – электрическая проводимость материала;
- μ – магнитная проницаемость материала;
- h – толщина диэлектрического покрытия или размер зазора между ОК и преобразователем;
- T – толщина объекта контроля;
- габаритные параметры обмоток преобразователя;

- размеры дефектов, расположенных в зоне влияния магнитного поля преобразователя.

Круговая частота тока возбуждения, радиус обмоток и электрическая проводимость материала влияют на выходное напряжение одинаково, поэтому данные параметры возможно объединить в обобщённый параметр β , при равенстве радиусов R обмоток возбуждения и измерения, параметр будет рассчитываться следующим образом:

$$\beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0}. \quad (1.2)$$

При изменении параметра β и неизменности прочих условий вектор вносимого напряжения отображает на комплексной плоскости гладкую прямую, то есть происходит изменение амплитуды и фазы сигнала (Рисунок 1.18, Рисунок 1.19) [8].

Изменение значения зазора между ОК и преобразователем влияет исключительно только на амплитуду выходного сигнала (Рисунок 1.18).

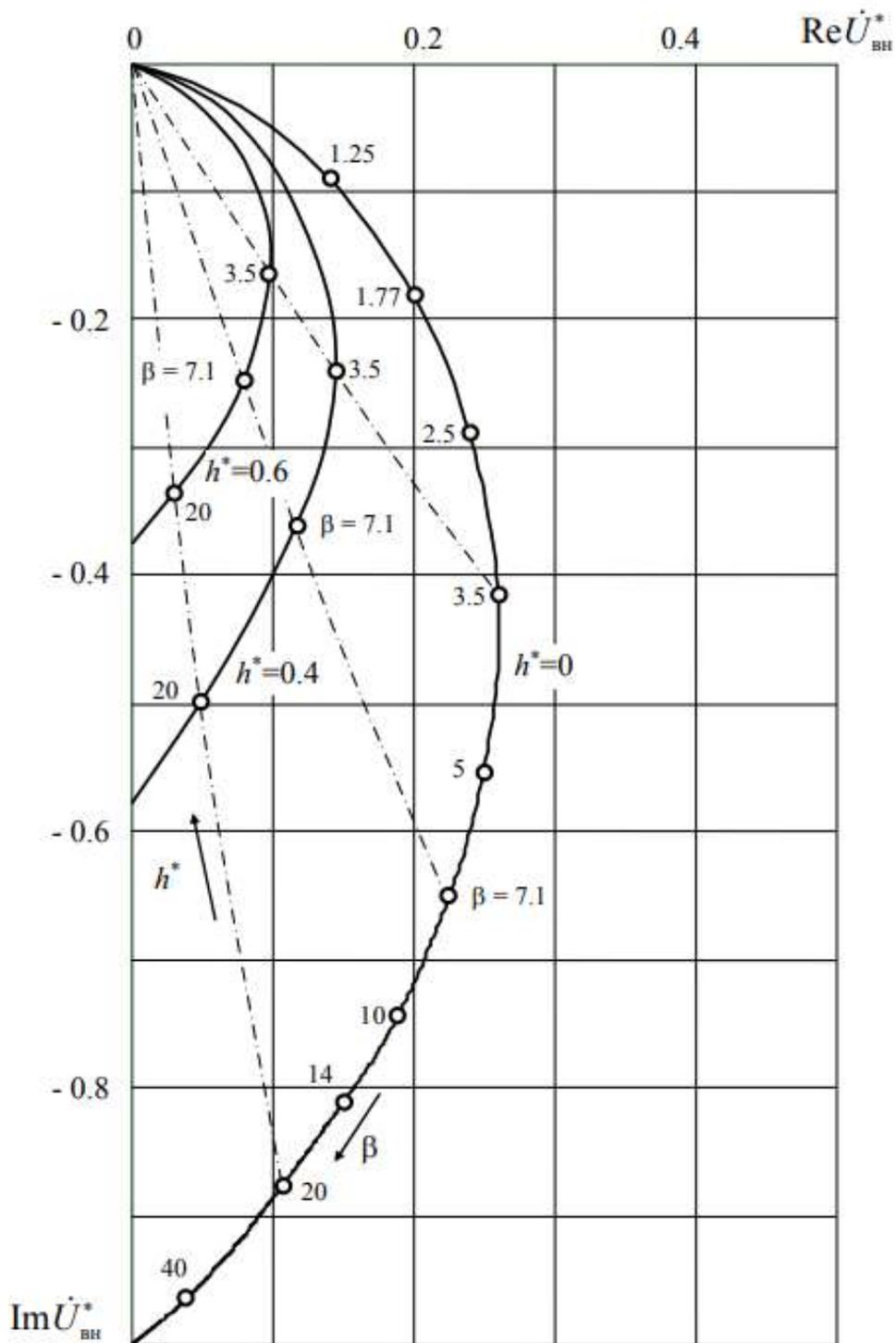


Рисунок 1.18 – Годографы относительного вносимого напряжения вихрекового преобразователя от изменения обобщённого параметра β и зазора $h^* = h/R$

Изменение толщины (T) ОК влияет как на фазу, так и на амплитуду сигнала (Рисунок 1.19). Изменение сигнала происходит до определённого значения толщины изделия, а при превышении данного значения происходит прекращение изменения сигнала. Вызвано данное явление ограниченностью распространения вихревых

токов по глубине ОК. Исходя из этого, при использовании ВТП для определения толщины ОК, размер не должен превышать максимальной глубины распространения вихревых токов.

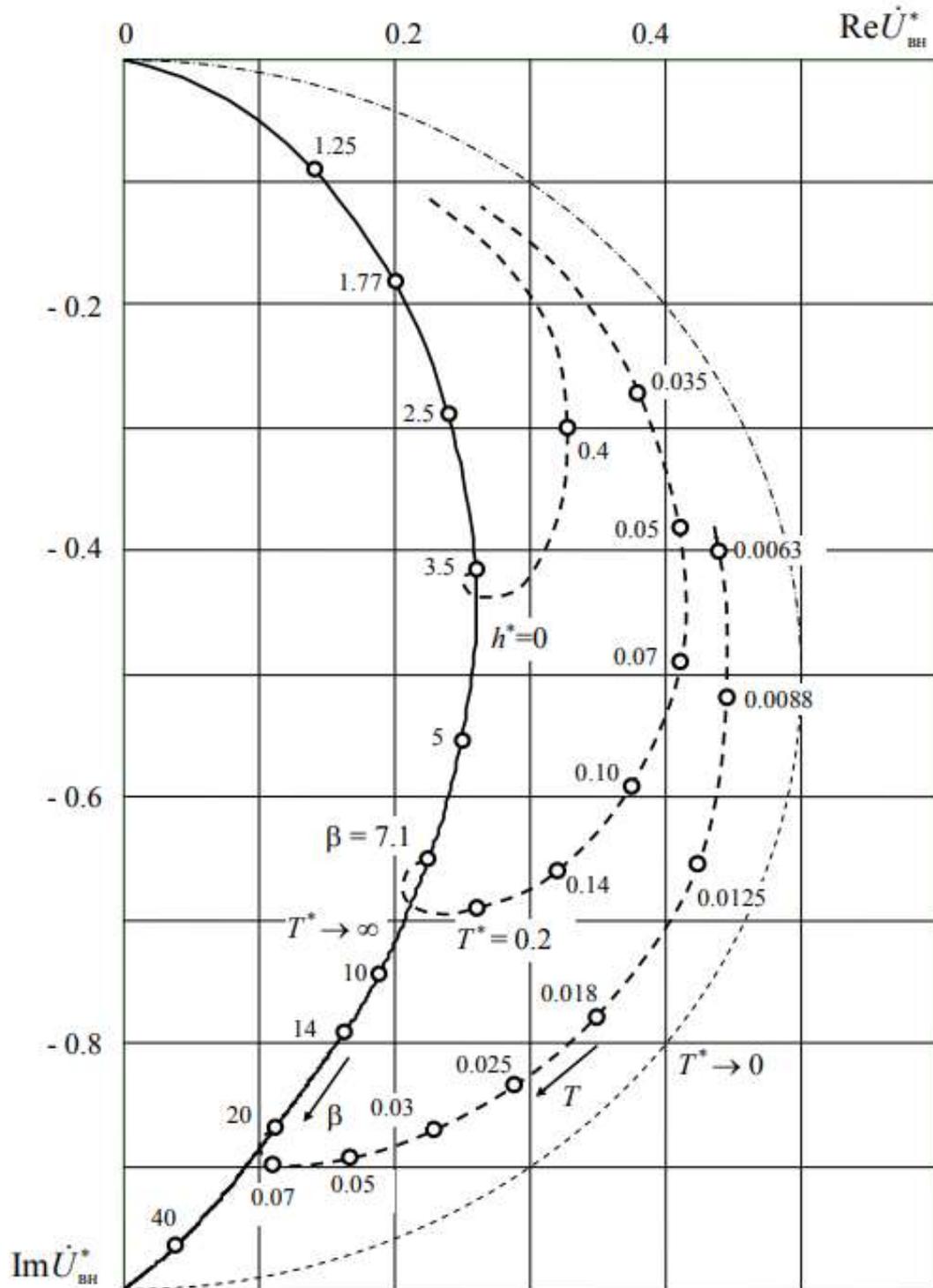


Рисунок 1.19 – Годографы относительного вносимого напряжения вихрекового преобразователя от изменения обобщённого параметра β и толщины $T^* = T/R$

Наличие в (ОК) дефектов также оказывает влияние на выходной сигнал преобразователя. В зависимости от размера дефекта и глубины залегания происходит изменение амплитуды и фазы сигнала (Рисунок 1.20).

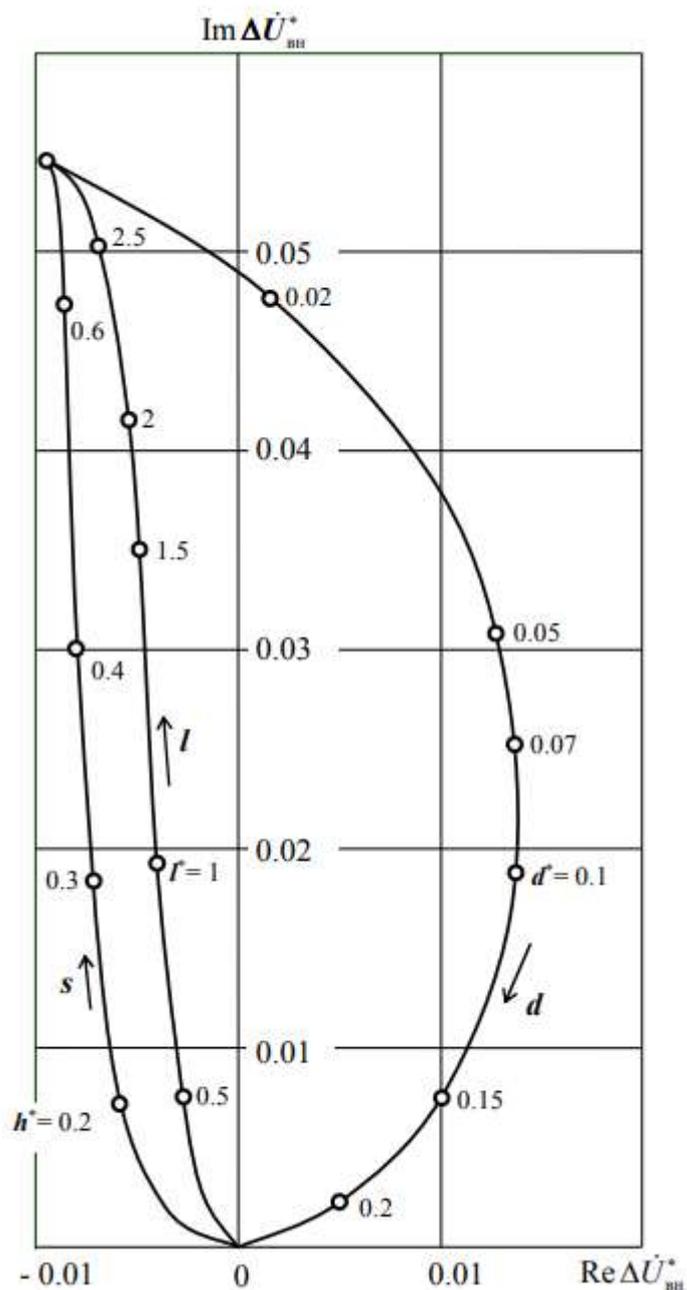


Рисунок 1.20 – Годографы относительного вносимого напряжения вихретокового преобразователя от изменения глубины и длины дефекта соответственно s , l и глубины залегания дефекта d где $l^* = l/2R$; $d^* = d/2R$; $s^* = s/2R$

Для дефекта, представляющего вкрапление диэлектрического материала или полый плоскости Рисунок 1.20, увеличение габаритных параметров дефекта будет

повышать амплитуду выходного сигнала, относительно сигнала на бездефектном участке ОК, до тех пор, пока дефект не превзойдёт зону действия вихревых токов, что приведёт к фиксации выходного напряжения. Глубина залегания дефекта оказывает обратное воздействие. Увеличение расстояния от края объекта контроля до дефекта приводит к уменьшению амплитуды сигнала пока дефект не покинет зону распространения вихревых токов.

Таким образом, по изменению амплитуды и фазы выходного напряжения можно определить такие параметры ОК как: материал; толщина ОК; толщина диэлектрического покрытия; наличие дефектов.

1.2.6. Способы отстройки сигнала с преобразователя от зазора

Метод отстройки вычитанием

Представленный преобразователь (Рисунок 1.21) для контроля использует параметрический ВТП (3). Генератор (1) формирует гармонический сигнал, с заданными характеристиками, который подаётся на амплитудные детекторы (4 и 5) без изменения и через резистивный делитель (2, 3) соответственно. Резистивный делитель состоит из подстрочного резистора (2) и обмотки преобразователя (3), реактивного сопротивления. Сигналы амплитудные детекторы подключены к сумматору (6), который в свою очередь подаёт сигнал на индикатор (7) [6].

ВТП помещают на бездефектную часть ОК с заданным зазором. Изменением сопротивления подстрочного резистора добиваются того, чтобы показания индикатора равнялись нулю. Таким образом, исключается влияние зазора на полезный сигнал и, как следствие, упрощается поиск дефектов.

Значительным недостатком данного метода является то, что измерение проводится по данным амплитуды и не учитывается изменение фазы сигнала.

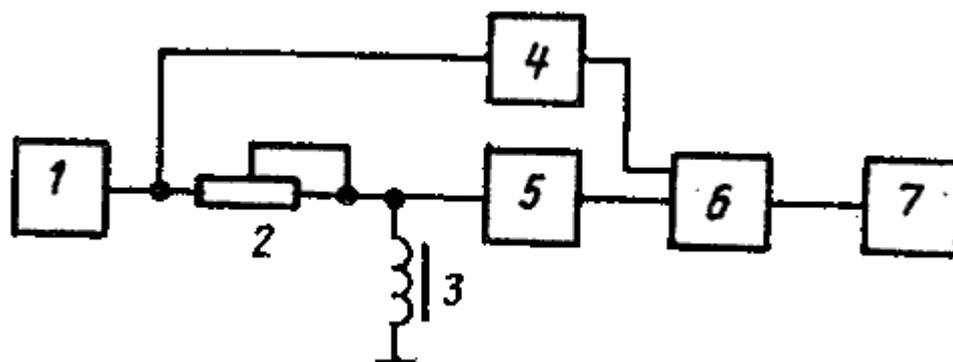


Рисунок 1.21 – Блок схема дефектоскопа с отстройкой от зазора

Метод смещения фазы

Реализация данного метода отстройки от зазора производится с помощью цифровых преобразований ЭВМ сигнала с ВТП.

Сущность метода заключается в изменении фазы вносимого напряжения для оптимизации видимости отклонения сигнала от наличия дефекта[7].

Перед проведением дефектоскопических работ производят измерения с заранее известными дефектами и зазорами, результатом чего получают годографы 8 и 7 (Рисунок 1.22), где точка А – значения сигнала на бездефектном участке ОК с зазором, В – сигнал с дефектом и зазором, Н – сигнал на бездефектном участке без зазора.

Следующим шагом производят изменение значения фазы сигнала таким образом, чтобы годограф отклонения сигнала от дефекта АВ был паралелен одной из осей комплексной плоскости. В результате получают годографы 7' и 8' и, как следствие, упрощается определение причины изменения сигнала: дефект или зазор.

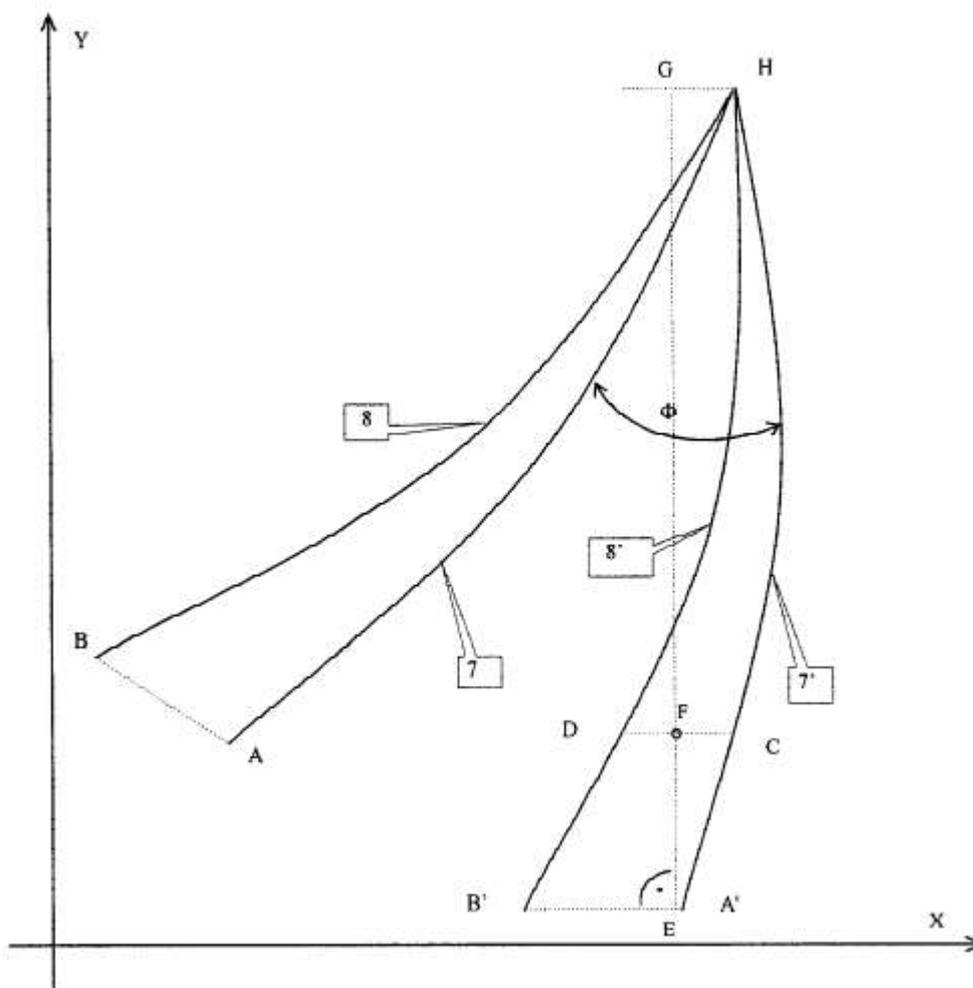


Рисунок 1.22 – Годографы вносимого напряжения от изменения зазора на бездефектном участке объекта контроля и при наличии дефекта с фазовым смещением и без

1.2.7. Современные вихретоковые дефектоскопы

Вихретоковый дефектоскоп «ВЕКТОР 60-Д»

Дефектоскопы «ВЕКТОР-60Д» (Рисунок 1.23) используются для поиска поверхностных и подповерхностных дефектов: трещин, нарушений сплошности и однородности материалов, полуфабрикатов и готовых изделий из электропроводящих материалов.

Помимо определения глубины поверхностных трещин прибор может измерять толщину диэлектрических защитных покрытий, а также электропроводность цветных металлов и содержание ферритной фазы в нержавеющей хромоникелевых сталях аустенитного и перлитного классов.

С дефектоскопами могут использоваться накладные или проходные вихретоковые дифференциальные и абсолютные преобразователи, работающие на частотах от 10 Гц до 20 МГц.



Рисунок 1.23 – Вихретоковый дефектоскоп «ВЕКТОР-60Д»

Технические характеристики дефектоскопа «ВЕКТОР-60Д»

- Диапазон регулировки частоты возбуждения преобразователя,
..... от 10(30) до 20 000 000 Гц.
- Предел допускаемой относительной погрешности установки частоты возбуждения преобразователя, 0,1. 2.3 %.
- Нестабильность выходной частоты дефектоскопа при работе в течение 1 часа в нормальных условиях и при неизменном напряжении питания не более, 0,01%.
- Диапазон измерения глубины поверхностных дефектов типа паза,
..... от 0,2 до 1,0 мм.
- Предел основной абсолютной погрешности измерения глубины поверхностных дефектов типа паз при ширине раскрытия не более 0,2 мм с шероховатостью поверхности Ra не более 1,25 мкм,± (0,12H+0,1) мм.

- Питание - внешний блок питания от сети 220 В, 50 Гц с выходным напряжением 18 В или аккумуляторная батарея.
- Потребляемая мощность не более, 25 Вт.
- Время установления рабочего режима не более, 5 мин.
- Время непрерывной работы от сети переменного тока,не менее 16 час.
- Время непрерывной работы от аккумуляторов при подсветке 50%, 8 час.
- Средняя наработка на отказ, не менее 2500 час.
- Габаритные размеры, 330x200x75 мм.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Данная работа нацелена на разработку вихретокового дефектоскопа для ручного контроля с накладным преобразователем. Прибор разрабатывается для нефтегазовой и автомобильной промышленности для поиска дефектов в электропроводящих изделиях с целью предотвращения поломок и, как следствие, экономических потерь.

В связи с тем, что на данном этапе производится разработка технологии проведения дефектоскопических работ, для последующей проектировки прибора, оценить коммерческую ценность проекта является затруднительным.

Данный раздел содержит оценку перспективности и успешности разрабатываемого дефектоскопа и проделанной работы.

4.1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1. Определение целевого рынка, потенциальных потребителей разрабатываемого устройства

Как было сказано выше, разрабатываемое устройство предназначено для использования в автомобильной и нефтегазовой промышленности. В связи с тем, что устройство разрабатывается в большей степени для контроля трубопроводов большого диаметра с диэлектрическим покрытием, потенциальными потребителями являются такие компании как «Роснефть», «Газпром», «Лукойл».

4.1.2. Анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке

ООО «КОНСТАНТА», ООО "Восток-7" – это основные конкурирующие компании на российском рынке дефектоскопов, представляющие услуги по производству, продаже и обслуживанию вихретоковых дефектоскопов для ручного контроля с возможностью отстройки от зазора.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum(B_i \cdot B_i); \quad (4.1)$$

где V_i – вес оценки критерия i ; B_i – балл за оценку критерия i .

Расстановка баллов за критерии оценки осуществляется от 1 до 5, слабая и сильная позиция соответственно. Критерии оценки и баллы по критериям представлены в таблице (Таблица 4.1) где ϕ – разрабатываемый продукт, К1 – компания «КОНСТАНТА» и К2 – «Восток 7».

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б(ϕ)	Б(К1)	Б(К2)	К(ϕ)	К(К1)	К(К2)
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	2	4	0,5	0,2	0,4
2. Надежность	0,12	3	5	5	0,48	0,6	0,60
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,08	3	1	5	0,24	0,08	0,4
4. Простота эксплуатации	0,15	5	2	3	0,75	0,3	0,45
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
2. Цена	0,3	3	5	2	0,9	1,5	0,6
3. Послепродажное обслуживание	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
4. Наличие сертификации разработки	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Итого	1	35	29	33	4	3,88	3,65

Как следует из данных таблицы 4.1, по общей оценке технической конкурентоспособности, оборудование компании «Восток-7» заняло последнее место. Вызвано это высокой стоимостью дефектоскопов данной компании. Данный недостаток «Восток-7» компенсирует высокой функциональностью устройств и высоким качеством. Продукция компании «КОНСТАНТА» за счёт дешевизны заняла

второе место, но стоит также отметить слабую функциональную мощность данной линейки дефектоскопов, что значительно уменьшает возможности устройств.

Разрабатываемое устройство с незначительным отрывом заняло первое место в анализе технической конкурентоспособности. Вызвано данное явление тем, что дефектоскоп разрабатывается с условием наличия функционала сопоставимого с дефектоскопами компании «Восток-7» при относительно низкой цене.

4.1.3. SWOT-анализ

Для проведения SWOT анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Сильные стороны проекта

- С1. Относительно невысокая конечная стоимость продукта.
- С2. Относительно высокий функционал устройства.
- С3. Простота послепродажного обслуживания.

Слабые стороны проекта

- Сл1. Узкий целевой рынок.
- Сл2. Отсутствие возможности наладить массовое производство.
- Сл3. Низкая информированность рынка.

Возможности проекта

- V1. Опыт сотрудничества ТПУ с потенциальными потребителями.
- V2. Возможность использования ВТП сторонних производителей.
- V3. Возможность использования наработок ТПУ в данной сфере.

Угрозы проекту

- У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.
- У2. Развитие разработок конкурентов.
- У3. Увеличение сроков поставок комплектующих от поставщиков.

Далее проводим сопоставляем сильные и слабые сторон с возможностями и угрозами для выявления необходимости проведения изменений. Для этого создаём перекрёстные таблицы и заполняем их: «<+>» – сильное соответствие; «<->» – слабое

соответствие; «0» – неопределённое соответствие. После составляем матрицу SWOT анализа.

Таблица 4.2 – Анализ сильных сторон и возможностей проекта

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

Сильные стороны и возможности взаимодействуют следующим образом:

B2C1C2 и C1B1B2.

Таблица 4.3 – Анализ слабых сторон и возможностей проекта

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	B1	+	-	+
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-

Слабые стороны и возможности взаимодействуют: B1C1C3.

Таблица 4.4 – Анализ сильных сторон и угроз проекта

		Сильные стороны проекта		
		C1	C2	C3
Угрозы проекта	У1	+	+	-
	У2	-	+	-
	У3	-	-	-

Взаимосвязь сильных сторон и угроз наблюдается в: У1C1C2, У2C2.

Таблица 4.5 – Анализ слабых сторон и возможностей проекта

		Слабые стороны проекта		
		Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	У1	+	-	+
	У2	+	-	+
	У3	-	+	-

В ходе анализа получаем следующую взаимосвязь слабых сторон и угроз У1Сл1Сл3, У2Сл1Сл3, У3Сл2.

Таблица 4.6 – Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Относительно невысокая конечная стоимость продукта;</p> <p>С2. Относительно высокий функционал устройства;</p> <p>С3. Простота послепродажного обслуживания.</p>	<p>Сл1. Узкий целевой рынок;</p> <p>Сл2. Отсутствие возможности наладить массовое производство;</p> <p>Сл3. Низкая информированность рынка.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Опыт сотрудничества ТПУ с потенциальными потребителями;</p> <p>В2. Возможность использования ВТП сторонних производителей;</p> <p>В3. Возможность использования наработок ТПУ в данной сфере.</p>	<p>1. Опираясь на наработки ТПУ возможно реализовать универсальный прибор.</p> <p>2. Наличие опыта работы с потенциальными клиентами даёт возможность чётко сформулировать необходимый функционал разрабатываемого устройства.</p>	<p>1. Устройство может затеряться среди существующих аналогов.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства.</p> <p>У2. Развитие разработок конкурентов.</p> <p>У3. Увеличение сроков поставок комплектующих от поставщиков.</p>	<p>1. Широкий функционал при относительно низкой стоимости должен привлечь потенциальных покупателей.</p>	<p>1. Непостоянство в сроках доставки компонентов из другой страны, могут повлечь проблемы с организацией постоянного производства.</p> <p>2. Негативное сочетание отсутствия спроса на новые технологии и низкой информированности рынка.</p>

В этом разделе были рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, угрозы и его возможности. После анализа полученных данных, было выявлено как можно

компенсировать слабые стороны проекта и нейтрализовать его угрозы с помощью сильных сторон разработки.

4.2. Определение возможных альтернатив проведения научных исследований. Определение трудоемкости выполнения работ

В данный момент производится создание рабочего прототипа дефектоскопа и программы его работы. Для успешной реализации проекта было необходимо провести анализ возможных вариантов проектирования и выбрать наиболее рентабельный. Анализ проводился следующих характеристик:

А. Вихретоковый преобразователь.

Б. Блок обработки данных.

В. Питание прибора.

По результатам предложенных характеристик создается морфологическая матрица для системы автоматического освещения, представленная в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Морфологическая матрица для автоматического освещения

	1	2	3
А. Вихретоковый преобразователь	ПН-10-ТД	ПН-09-МДФ01	ПН-12-МДФ01
Б. Блок обработки данных	МК ARM	МК AVR	ПК
В. Питание прибора	Питание от промышленной сети 220В, 50Гц	Низковольтное питание от адаптера на 12В	Питание от портативного источника

В результате проведённого анализа были выбраны наиболее подходящие вариации А1Б3В1. Выбор преобразователя производился, опираясь на требования технического задания. В связи с тем, что на данном этапе происходит проверка работоспособности технологии, блок обработки данных и тип питания выбирался с условием наибольшей экономии.

4.3. Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1. Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований необходимо по каждому виду запланированных работ установить соответствующую должность исполнителей. Также необходимо составить перечень этапов работ в рамках этого научного исследования, а также провести распределение исполнителей по видам работ.

Перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и распределение исполнителей по видам работ представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Гольдштейн Александр Ефремович
Выбор направления исследования	2	Выбор направление исследований	Гольдштейн Александр Ефремович
	3	Календарное планирование работ по теме	Гольдштейн Александр Ефремович
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Подбор и изучение литературы по теме исследования	Разуваев Иван Николаевич
	5	Анализ существующих методов проведения отстройки значений сигнала преобразователя от зазора	Разуваев Иван Николаевич
	6	Проведение экспериментов	Разуваев Иван Николаевич
	7	Обработка экспериментальных данных	Разуваев Иван Николаевич

Таблица 4.8 – Продолжение

Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	8	Разработка структурной схемы системы	Разуваев Иван Николаевич
	9	Разработка блок схемы программы работы прибора	Разуваев Иван Николаевич
Оформление отчета по НИР	10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Гольдштейн Александр Ефремович, Разуваев Иван Николаевич
	11	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Разуваев Иван Николаевич
	12	Подведение итогов и оформление работы	Разуваев Иван Николаевич

4.3.2. Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость определяется в человеко-днях и рассчитывается по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}; \quad (4.2)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн;
 t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}; \quad (4.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для построения графика проведения научного исследования необходимо определить длительность каждого из этапов работ в календарных днях по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (4.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (4.5)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{кал} = \frac{366}{366 - 118} = 1.476 \quad (4.6)$$

Ожидаемая трудоемкость, а также продолжительность каждой работы в рабочих днях для этапов работы приведенных в таблице:

Таблица 4.9 –Ожидаемая трудоемкость и продолжительность работы

№	Содержание работ	Исполнители работ	Трудоемкость работ, чел.-дн.			Продолжительность работ, раб.дн/кал.дн	
			t_{mini}	t_{maxi}	$t_{ожи}$	T_{pi}	$T_{кал}$
1	Составление и утверждение технического задания	Гольдштейн А.Е.	1	2	1.4	1.4	2
2	Выбор направления исследования	Гольдштейн А.Е.	2	3	2.4	2.4	4
3	Календарное планирование работ по теме	Гольдштейн А.Е.	2	3	2.4	2.4	4
4	Подбор и изучение литературы по теме исследования	Разуваев И.Н.	15	20	17	17	25
5	Анализ существующих методов проведения отстройки значений сигнала преобразователя от зазора	Разуваев И.Н.	10	12	10.8	10.8	16
6	Проведение экспериментов	Разуваев И.Н.	15	25	19	19	28
7	Обработка экспериментальных данных	Разуваев И.Н.	5	10	7	7	10
8	Разработка структурной схемы системы	Разуваев И.Н.	5	10	7	7	10

Таблица 4.9 – Продолжение

9	Разработка блок схемы программы работы прибора	Разуваев И.Н.	5	10	7	7	10
10	Согласование выполненной работы с научным руководителем	Гольдштейн А.Е. Разуваев И.Н.	2	5	3.2	1.6	2
11	Выполнение других частей работы (финансовый менеджмент, социальная ответственность)	Разуваев И.Н.	10	12	10.8	10.8	16
12	Подведение итогов и оформление работы	Разуваев И.Н.	15	25	19	19	28

На основе представленной таблицы формируем календарный план-график проведения научного исследования.

4.3.3. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее наглядным и удобным представлением графика научных работ является диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Таблица 4.10 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	T _{кал.} , кал.д н.	Продолжительность работ																
				Янв.			Фев.			Март			Апр.			Май			Июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление ТЗ	Руководитель	2	■																
2	Выбор направления исследования	Руководитель	4	■																
3	Календарное планирование	Руководитель	4	■																
4	Изучение литературы	Студент	25		■	■	■													
5	Анализ существующих методов	Студент	16		■	■	■													
6	Проведение экспериментов	Студент	28				■	■	■	■										
7	Обработка данных	Студент	10							■	■									
8	Разработка структурной схемы	Студент	10							■	■									
9	Разработка блок-схемы программы	Студент	10							■	■									
10	Согласование выполненной работы	Руководитель и студент	2									■	■							
11	Выполнение других частей	Студент	16									■	■	■						
12	Подведение итогов	Студент	28											■	■	■				

4.4. Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования, необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех расходов, связанных с его выполнением [3].

4.4.1. Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Рассчитаем материальные затраты по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi} \quad (4.7)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования; $N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования; C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов; k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество			Цена за ед. с НДС, руб.			Затраты на материалы, (Зм)руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп. 2	Исп. 3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Вихрегоковый преобразователь	шт.	1	1	1	1550	680	1690	1860	816	2028
DDS генератор	шт.	1	1	1	7399	7399	8990	8878.8	8878.8	10788
Плата сбора данных	шт.	1	1	1	35179	35179	35179	42214.8	42214.8	42214.8
ПК	шт.	1	1	1	10000	10000	10000	12000	12000	12000
Итого	Исполнение 1			Исполнение 2			Исполнение 3			
	64953.6			63909.6			67030.8			

4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данной статье отражены затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ. Также необходимо учесть затраты на доставку и монтаж в размере 15% от цены. Стоимость оборудования в дальнейшем учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Сводная таблица по расчетам затрат на специальное оборудование приведена ниже:

Таблица 4.12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования			Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, руб.			Общая стоимость оборудования, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	ОС Windows	ОС Windows	ОС Windows	1	1	1	4000	4000	4000	4000	4000	4000
2	Пакет Microsoft Office	Пакет Microsoft Office	Пакет Microsoft Office	1	1	1	2019	2019	2019	2019	2019	2019
3	Labview 2012	Labview 2012	Labview 2012	1	1	1	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Итого:										3001	3001	3001
										9	9	9

4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, которые участвуют в выполнении работ по данной теме. В состав заработной платы также включены премиальные выплаты, которые выплачиваются ежемесячно в размере 20-30% от оклада.

Статья включает основную заработную плату работников и дополнительную заработную плату, рассчитанную по следующей формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (4.8)$$

где $Z_{осн}$ —основная заработная плата; $Z_{доп}$ — дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (4.9)$$

где T_p —продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (Таблица 4.8); $Z_{дн}$ —среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (4.10)$$

где Z_m —месячный должностной оклад работника, руб.; M — количество месяцев работы без отпуска в течение года (12 для руководителя и 10 для бакалавра); F_d —действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн. (Таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Гольдштейн А.Е.	Разуваев И.Н.
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	118	193
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	28	7
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	103.3	55.3

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (4.11)$$

где $Z_{тс}$ —заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ —премиальный коэффициент, равный 30% от $Z_{тс}$; k_d —коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5; k_p —районный коэффициент, равный 1,3 (для г. Томска).

Тарифная заработная плата находится из произведения тарифной ставки работника первого разряда на тарифный коэффициент k_t и учитывается по единой для бюджетных организаций тарифной сетке.

Таблица 4.14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{тс}$, руб	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_{p1} , раб. дн	T_{p2} , раб. дн	T_{p3} , раб. дн	$Z_{осн1}$, руб	$Z_{осн2}$, руб	$Z_{осн3}$, руб
Гольдштейн А.Е.	-	-	135	0,3	0,5	1,3	315,9	36,7	7	13	7,8	257	477	286
Разуваев И.Н.	-	-	8	0,3	0,2	1,3	15,6	2,82	82	992	99,2	231	364	280
Итого $Z_{осн}$												488	841	566

4.4.4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы

В этом разделе отражены затраты на дополнительную заработную плату, состоящую из доплат за отклонение от нормальных условий труда, выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций. Рассчитывается по формуле ниже:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot k_{доп} \quad (4.12)$$

где $k_{доп}$ —коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования обычно принимается равным 0,12 – 0,15).

4.4.5. Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье отражены обязательные отчисления, установленные законодательством Российской Федерации органами государственного социального

страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования. Рассчитываются отчисления во внебюджетные фонды по следующей формуле:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) \quad (4.13)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, действует ставка 27,1%).

Таблица 4.15 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.			Дополнительная заработная плата, руб.		
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Руководитель проекта	257	477	286	38,5	71,6	42,9
Студен дипломник	231	364	280	34,7	54,6	42,0
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0.271					
Итого						
Исполнение 1	$З_{внеб} = 0,271 \cdot (488 + 73,2) = 152,1$					
Исполнение 2	$З_{внеб} = 0,271 \cdot (841 + 126,2) = 262,1$					
Исполнение 3	$З_{внеб} = 0,271 \cdot (566 + 84,9) = 176,4$					

4.4.6. Накладные расходы

В данном разделе указаны прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле ниже:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{нр} \quad (4.14)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы равный примерно 16%.

4.4.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Расчет бюджета затрат на научно-исследовательский проект

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	
1. Материальные затраты НТИ	64953.6	63909.6	67030.8	Пункт 4.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.	30019	30019	30019	Пункт 4.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы.	488	841	566	Пункт 4.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы.	73,2	126,2	84,9	Пункт 4.4.4
5. Отчисления во внебюджетные Фонды.	152,1	262,1	176,4	Пункт 4.4.5
6. Накладные расходы.	15309,7	15225,3	15660,3	Пункт 4.4.6
7. Бюджет затрат НТИ.	110995,6	110383,2	113537,4	Сумма ст. 1÷6

4.5. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности каждого требуемого параметра производится на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования.

Данный показатель получается в ходе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель определяется по следующей формуле:

$$I_{финi} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (4.15)$$

где Φ_{pi} – стоимость i-го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности определяется по формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (4.16)$$

где a_i – весовой коэффициент i-го варианта исполнения разработки; b_i – балльная оценка i-го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания (Таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,1	4	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,3	4	5	4
3. Энергосбережение	0,15	3	5	4
4. Надежность	0,25	5	5	5
5. Воспроизводимость	0,1	4	3	5
6. Материалоемкость	0,1	4	4	3
ИТОГО	1	4,1	4,7	4,25

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется по формуле:

$$I_{испи} = \frac{I_{писпи}}{I_{финi}} \quad (4.17)$$

Сравнительная эффективность проекта рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп}i}}{I_{\text{исп}i+1}} \quad (4.18)$$

Полученные данные сведены в общую сравнительную таблицу (Таблица 4.18) эффективности разработки, что позволит выбрать наиболее подходящий вариант решения поставленной в работе задачи с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.

Таблица 4.18 – Сравнительная таблица эффективности разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель	0,978	0,972	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,1	4,7	4,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,19	4,83	4,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,868	1	0,879

По результатам определения ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности было выбрано исполнение 2, как наиболее эффективное и отвечающее современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.