

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

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки Приборостроение
 Отделение школы Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб
УДК 620.179.142.5.08:622.24.053-034.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Полюшко Денис Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимов Е.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	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 (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6, ОПК-1, ОПК-2, ПК-12), 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 (40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, 40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю,)
P2	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 (УК-1, УК-2, УК-6, ОПК-2, ОПК-3, ПК-6, ПК-8), 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 (29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.053 Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса, 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)
P3	Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.	Требования ФГОС (УК-5, УК-6, ОПК-1, ПК-1, ПК-3, ПК-4, ПК-9), 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-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю.
P4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-8, ПК-9), 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)
P5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ПК-3, ПК-9, ПК-11), 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)
P6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (УК-1, УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-15), 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 (19.016 Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов, 29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 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, 29.006 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, 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 (УК-2, УК-6, ОПК-3, ПК-7, ПК-8, ПК-10. ПК- 11, ПК-12, ПК-14, ПК -15), 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 (19.016 Специалист по диагностике линейной части магистральных газопроводов, 29.004 Специалист в области проектирования и сопровождения производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов, 40.053 Специалист по организации постпродажного обслуживания и сервиса)

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор существующих методов и средств контроля толщины стенок легкосплавных бурильных труб. 2. Разработка системы контроля толщины стенок легкосплавных бурильных труб. 3. Разработка конструкции блока измерения системы контроля.
Перечень графического материала	Принципиальная схема блока усиления
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фадеева Вера Николаевна
«Социальная ответственность»	Федорчук Юрий Митрофанович
"Иностранный язык"	Смирнова Ульяна Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Легкосплавные бурильные трубы	
Виды толщиномеров легкосплавных бурильных труб	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.10.2017

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимов Евгений Валерьевич	к.т.н., доцент		05.10.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Полюшко Денис Александрович		05.10.2017

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ72	Полюшко Денис Александрович

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Магистр	Направление	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет стоимости материалов Накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды-30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Определены потенциальные потребители результатов НТИ Проведён анализ конкурентных технических решений и SWOT-анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	Цели и результаты проекта Построена организационная структура проекта, определены ограничения и допущения проекта
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Разработан план проекта Определены бюджет и риски проекта
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведена оценка ресурсной эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT-анализа
5. Линейный график проведения и бюджет НТИ
6. Диаграмма Ганта проведения НТИ
7. Потенциальные риски
8. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.03.2019
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		11.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Полюшко Денис Александрович		11.03.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ІВМ72	Полюшко Денис Александрович

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является лаборатория №410, 18-го уч. корпуса, где производилось изготовление вихретокового толщиномера. Она оборудована письменным столом, персональными компьютерами, паяльными станциями и электронной аппаратурой.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>К числу вредных факторов на рабочем месте следует периодическую загазованность воздуха парами вредных химических веществ, периодическое несоответствие освещенности рабочего места, наличие электромагнитных излучений.</p> <p>К числу опасных факторов следует отнести наличие электроисточников, ручного инструмента, оборудования с повышенной температурой поверхности и горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности.</p> <p>Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указаны допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений перечислены средства коллективной и индивидуальной защиты; приведены классы электроопасности помещений и категории пожароопасности помещения. Произведён расчёт освещения на рабочем месте.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	<p>Наличие отходов (остатки проводов) потребовали разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов.</p>

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС: 1) природная – сильные морозы зимой; 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место; предусмотрены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>
<p>Перечень графического материала:</p> <p>1) План эвакуации при пожаре 2) План помещения и размещения светильников</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	11.03.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		11.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ72	Полюшко Денис Александрович		11.03.2019

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 126 с., 78 рис., 31 таблица, 23 источника, 3 приложения.

Ключевые слова: вихретоковый метод, легкосплавные бурильные трубы, измерение толщины стенок легкосплавных бурильных труб.

Объектом исследования является вихретоковый толщиномер для легкосплавных бурильных труб.

Цель работы – разработка системы измерения толщины стенок легкосплавных бурильных труб, основанной на вихретоковом методе.

В процессе работы проводились:

- обзор основных методов контроля толщины стенок легкосплавных бурильных труб;
- разработка электронной части макета толщиномера легкосплавных бурильных труб;
- разработка программного обеспечения макета для снятия зависимостей амплитуды и фазы сигналов вихретокового преобразователя от толщины и зазора между преобразователем и поверхностью бурильной трубы;
- снятие экспериментальных зависимостей амплитуды и фазы сигналов вихретокового преобразователя от толщины и зазора;
- разработка программного обеспечения макета для расчёта толщины и зазора.

В результате исследования разработан макет, способный измерять толщину стенки легкосплавной бурильной трубы, а также зазор между преобразователем и поверхностью бурильной трубы.

Области применения: нефтяная и газовая промышленность, производство бурильных труб.

В будущем, на основе разработанного макета, планируется изготовить вихретоковый толщиномер для контроля легкосплавных бурильных труб в промышленных и полевых условиях.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 23786-79. Трубы бурильные из алюминиевых сплавов. Технические условия.
2. ГОСТ 18353–79. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов.
3. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
4. СанПиН 2.2.4-548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
7. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
8. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

Определения

толщиномер: измерительный прибор, позволяющий с высокой точностью измерить толщину материала или слоя покрытия материала.

вихретоковый преобразователь: устройство, состоящее из одной или нескольких индуктивных обмоток, предназначенных для возбуждения в объекте контроля вихревых токов и преобразования зависящего от параметров объекта электромагнитного поля в сигнал преобразователя.

годограф относительного вносимого напряжения: линия на комплексной плоскости, вычерчиваемая концом вектора относительного вносимого напряжения при изменении какого-либо геометрического или электромагнитного параметра проводящего объекта либо частоты тока возбуждения.

структурная схема: совокупность элементарных звеньев объекта и связей между ними, один из видов графической модели.

математическое моделирование: научный подход, связанный с построением и использованием математической модели исследуемого явления, субъекта или объекта, а также систем, их включающих с целью сокращения времени, сил и средств по предсказанию возможного будущего, повышения обоснованности и точности научных прогнозов

переходная характеристика системы: реакция на единичное ступенчатое воздействие при нулевых начальных условиях.

аппроксимация: научный метод, состоящий в замене одних объектов другими, близких к исходным, но более простыми

Сокращения:

ЛБТ – легкосплавные бурильные трубы

ВТП – вихретоковый преобразователь

ОВ – обмотка возбуждения

ОИ – измерительная обмотка

ОК – компенсационная обмотка

САФОС – схема амплитудно-фазовой обработки сигналов

ПСД – плата сбора данных

БП – блок питания

ПК – персональный компьютер

ФНЧ – фильтр нижних частот

ПФ – полосовой фильтр

АФЧХ – амплитудно-фазовая частотная характеристика

Оглавление

Введение	15
1 Легкосплавные бурильные трубы	16
2 Виды толщиномеров легкосплавных бурильных труб	19
2.1 Классификация методов толщинометрии	19
2.2 Радиографические толщиномеры	20
2.2 Электромагнитно-акустические толщиномеры	24
2.3 Вихретоковые толщиномеры	26
3 Вихретоковое измерительное преобразование	28
3.1 Физический принцип вихретокового измерительного преобразования ..	28
3.2 Особенности вихретокового измерительного преобразования	29
3.3 Классификация вихретоковых преобразователей	30
3.3.1 Накладные ВТП	31
3.3.2 Проходные ВТП	32
3.3.3 Комбинированные ВТП	33
3.3.4 Экранные ВТП	34
3.3.5 Трансформаторные ВТП	35
3.3.6 Параметрические ВТП	35
3.3.7 Абсолютные ВТП	36
3.3.8 Дифференциальные ВТП	37
3.4 Параметры, влияющие на сигнал ВТП	38
3.4.1 Зависимость выходного сигнала ВТП от параметров объекта контроля .	
.....	38
3.4.2 Способы отстройки от мешающих параметров	40
3.4.3 Влияние краевого эффекта на сигналы ВТП и способы его устранения .	
.....	41
4 Разработка макета вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных	
труб	43
4.1 Разработка структурной схемы	43
4.1.1 Генератор	45

4.1.2 Вихретоковый преобразователь	48
4.1.3 Блок усиления.....	49
4.1.4 Плата сбора данных.....	51
5 Разработка программного обеспечения макета	53
5.1 Считывание сигналов ВТП платой сбора данных	53
5.2 Цифровая фильтрация с последующим детектированием амплитуд и фаз сигналов ВТП	54
5.3 Определение оптимальных параметров цифровых фильтров	58
5.3.1 Выбор типа аппроксимации фильтров	58
5.3.2 Определение оптимальных частот среза и порядков фильтров.....	61
5.4 Зависимости амплитуды и фазы сигналов ВТП от толщины и зазора	68
5.5 Определение зазора по амплитуде сигнала высокой частоты	77
5.6 Расчёт толщины трубы.....	80
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	86
6.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	86
6.1.1 Потенциальные потребители результатов НТИ	86
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений	87
6.1.3 SWOT-анализ	89
6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	93
6.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	95
6.2 Разработка устава научно-технического проекта	95
6.2.1 Цели и результаты НТИ	95
6.2.2 Организационная структура проекта	97
6.2.3 Ограничения и допущения проекта.....	98
6.3 Планирование процесса управления НТИ	98
6.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	98
6.3.2. Контрольные события проекта	99
6.3.3. План проекта.....	100
6.3.2 Бюджет проекта	102

6.3.3 Риски проекта	103
6.4. Определение ресурсной эффективности проекта	104
7 Социальная ответственность	106
7.1 Производственная безопасность.....	106
7.1.1. Анализ выявления вредных факторов при изготовлении вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб	107
7.1.1.1. Расчёт освещённости рабочего места.....	107
7.1.1.2 Микроклимат рабочего помещения.....	111
7.1.1.3 Повышенная загазованность рабочей зоны парами флюса.....	112
7.1.2 Анализ выявления опасных факторов при изготовлении вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб.....	113
7.1.2.1 Механические опасности	113
7.1.2.2 Термические опасности.....	113
7.1.2.3 Электробезопасность.....	114
7.1.2.4 Пожаровзрывобезопасность.....	114
7.2 Экологическая безопасность	116
7.2.1 Анализ влияния отходов от изготовления вихретокового толщиномера на окружающую среду	116
7.2.2 Разработка решения по обеспечению экологической безопасности ..	116
7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	117
7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	118
7.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	118
7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	119
7.4.3 Перечень НТД.....	120
Заключение	121
Список публикаций.....	123
Список использованных источников	124
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	127
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	139
ПРИЛОЖЕНИЕ В	141

Введение

В нефтяной и газовой промышленности, а также в геологоразведочных работах при освоении месторождений особое внимание уделяется бурению скважин. Разведочное и эксплуатационное бурение проводится вращательным способом, при котором круговое движение породоразрушающему инструменту передаётся либо от ротора, расположенного на поверхности, либо от забойных двигателей. В таких видах вращательного движения особо важную роль играет бурильная колонна.

Бурильная колонна представляет собой ступенчатый вал, соединяющий долото с наземным оборудованием. Она выполняет целый ряд задач [1]:

- передача вращательного движения
- ориентация породоразрушающего инструмента
- подъём и спуск породоразрушающего инструмента
- транспортировка и подача бурового раствора
- проведение ряда вспомогательных работ (цементирование скважин, ликвидация аварий и т.д.)

В состав бурильной колонны входят: ведущая труба, тонкостенные бурильные трубы и утяжелённые бурильные трубы, к нижней части которых присоединяется буровое долото.

При эксплуатации бурильной колонны трубы неизбежно касаются стенок скважины. Это приводит к абразивному износу стенки основного тела трубы и, как следствие к разрушению трубы, что в свою очередь приводит к аварийной ситуации. В целях предотвращения аварийной ситуации на предприятиях проводится периодический контроль толщины стенок труб с применением такого прибора, как толщиномер.

В данной выпускной квалификационной работе приведена разработка вихретокового толщиномера, способного бесконтактно измерять толщину стенки легкосплавной бурильной трубы с погрешностью не более 0,1 мм.

1 Легкосплавные бурильные трубы

Объектами контроля, в данной работе, являются легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ). Это особый вид бурильных труб, используемых в компоновке буровой колонны, применяющийся для глубоких, сверхглубоких, горизонтальных и наклонных бурильных работ.

ЛБТ изготавливаются из алюминиевых сплавов методом прямого гидравлического прессования. Применение таких сплавов обусловлено целым рядом преимуществ, выгодно отличающих их от стальных. К таким преимуществам относятся:

- высокая удельная прочность
- небольшой удельный вес
- коррозионная стойкость
- стабильность механических свойств при низких температурах
- немагнитность

Существующие конструкции ЛБТ классифицируются по форме сечения и виду изготовления [2].

В зависимости от формы сечения ЛБТ изготавливают:

- с внутренними концевыми утолщениями (ТБ)
- с внутренними концевыми утолщениями и протекторным утолщением

В зависимости от вида изготовления ЛБТ бывают:

- без нарезной резьбы
- с нарезной правой резьбой и с навинченными стальными замками

На рисунке 1.1 представлена конструкция легкосплавных бурильных труб с внутренними концевыми утолщениями. Наружный диаметр D таких труб нормируется от 54 до 108 мм. Толщина стенки концевого утолщения S достигает 27 мм, а толщина стенки основного сечения S_1 нормируется от 7,5 до 9 мм.

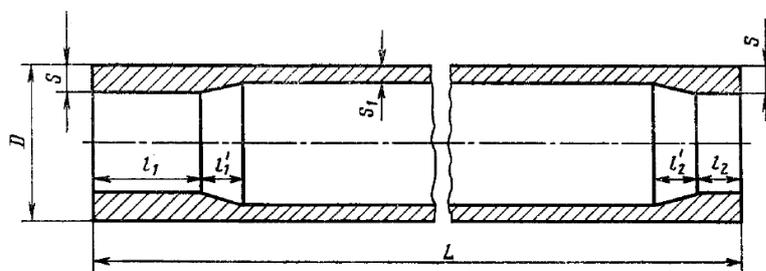


Рисунок 1.1 – ЛБТ с внутренними концевыми утолщениями без резьбы

Конструкция, представленная на рисунке 1.2, отличается от предыдущей наличием протекторного утолщения. Наружный диаметр D такой конструкции нормируется от 114 до 170 мм, толщина основного сечения S_1 от 10 до 17 мм, а толщина стенки протекторного утолщения S_2 от 20 до 26,5 мм.

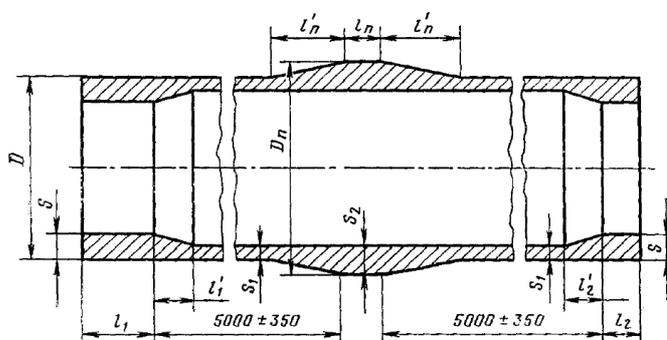


Рисунок 1.2 – ЛБТ с внутренними концевыми утолщениями и протекторным утолщением без резьбы

На рисунке 1.3 представлена сборная конструкция ЛБТ с внутренними концевыми утолщениями и навинченными стальными замками. Эта конструкция отличается от предыдущих наличием правой резьбы и стальных замков на концах трубы. Наружный диаметр D таких труб нормируется от 114 до 147 мм, а толщина стенки концевого утолщения S от 15 до 17 мм. Толщина основного сечения S_1 находится в пределах от 10 до 17 мм.

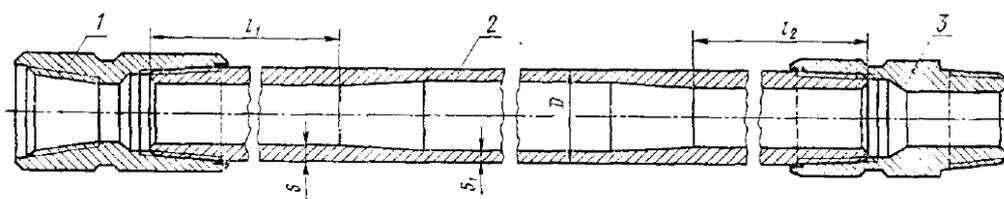


Рисунок 1.3 – ЛБТ с внутренними концевыми утолщениями с нарезанной правой резьбой и навинченными стальными замками

1 – муфта замка, 2 – труба, 3 – ниппель замка

В соответствии с ГОСТ 23786–79 [2], к легкосплавным алюминиевым бурильным трубам предъявляются следующие требования:

- Наружная и внутренняя поверхности труб должны быть чистыми;
- Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения должны соответствовать значениям, указанным в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения ЛБТ

Конструкция ЛБТ	Толщина стенки основного сечения, мм	Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения	
		нормальной точности, мм	повышенной точности, мм
С внутренними концевыми утолщениями без резьбы	7,5	$\pm 0,7$	$\pm 0,4$
	8	$\pm 0,8$	
	9	$\pm 0,9$	
С внутренними концевыми утолщениями и протекторным утолщением без резьбы	9	$\pm 0,9$	$\pm 0,4$
	10	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$
	11	$\pm 1,1$	$\pm 0,5$
	13	$\pm 1,3$	$\pm 0,5$
	15	$\pm 1,5$	$\pm 0,5$
	17	$\pm 1,7$	$\pm 0,5$
С внутренними концевыми утолщениями с нарезанной правой резьбой и навинченными стальными замками	10	$\pm 1,0$	$\pm 0,5$
	11	$\pm 1,1$	$\pm 0,5$
	13	$\pm 1,3$	$\pm 0,5$

- Предельное отклонение толщины стенки протекторного утолщения должно лежать в пределах от +0,1 до -0,2 мм;
- Контроль толщины стенки трубы должен проводиться инструментом, обеспечивающим точность измерения 0,1 мм.

2 Виды толщиномеров легкосплавных бурильных труб

2.1 Классификация методов толщинометрии

В настоящее время существует большое количество толщиномеров, основанных на различных физических законах, однако немногие из них подходят для выполнения поставленной задачи.

Были рассмотрены все существующие, на данный момент, методы измерения толщины [3]:

- магнитный
 - эффект Холла
 - магниторезисторный
- электрический
 - электропотенциальный
 - электроёмкостный
- вихретоковый
 - трансформаторный
 - параметрический
- оптический
 - визуально-оптический
- радиационный
 - ионизационный
 - радиографический
- акустический
 - пьезоэлектрический
 - электромагнитно-акустический

Наиболее подходящими методами измерения толщины, которые удовлетворяют главному требованию технического задания – отсутствию контакта между преобразователем и объектом контроля – оказались следующие методы:

- радиационный
 - радиографический
- акустический
 - электромагнитно-акустический
- вихретоковый

Далее в разделе приведена сравнительная характеристика толщиномеров, основанных на данных методах, с целью нахождения такого метода, который позволит удовлетворить всем требованиям технического задания.

2.2 Радиографические толщиномеры

Принцип работы таких толщиномеров основан на просвечивании ионизирующим излучением объекта контроля и его фиксации на радиографической плёнке или экране персонального компьютера. Они, обычно, состоят из источника излучения (рентгеновского аппарата) и детектора (радиографической плёнки, запоминаящей пластины, цифровой панели), рисунок 2.1.

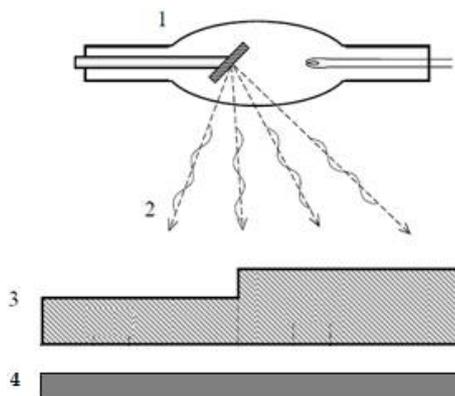


Рисунок 2.1 – Радиографический контроль толщины

1-источник излучения, 2-ионизирующее излучение, 3-объект контроля, 4- радиографическая плёнка

Изменение толщины материала в направлении просвечивания фиксируется на радиографическом снимке в виде значительного изменения плотности почернения. Для измерения толщины стенки, по радиографическому

снимку, используют контрольный образец, который представляет собой объект диаметром в 2-3 раза больше проектной толщины контролируемого образца [4]. Данный образец располагают до момента просвечивания, над контролируемым участком стенки. На рисунке 2.2 представлена схема просвечивания трубы при профильном радиографическом контроле с использованием объекта сравнения.

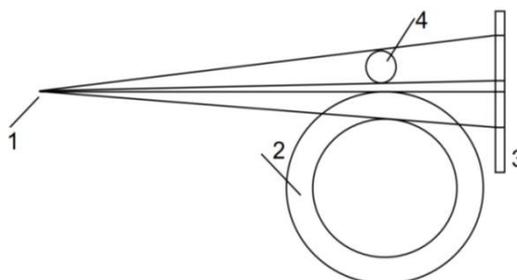


Рисунок 2.2 – Схема просвечивания трубы при профильном радиографическом контроле с использованием образца сравнения

1 – источник излучения, 2 – объект контроля, 3 – радиографическая плёнка, 4 – образец сравнения

На рисунке 2.3 представлен пример изображения трубы и образца сравнения на радиографической плёнке.



Рисунок 2.3 – Пример изображения трубы и образца сравнения на радиографической плёнке

Расчёт толщины трубы проводится по следующей формуле:

$$S = \frac{d_0}{d'_0} S' \quad (2.1)$$

где d_0 – реальный диаметр образца сравнения, d'_0 - диаметр увеличенного изображения образца сравнения, S' - диаметр увеличенного изображения трубы.

При использовании систем цифровой радиографии, толщину стенки трубы измеряют в специальных программах. На рисунке 2.4. представлен

пример измерения толщин стенок трубы с помощью программного обеспечения NOVO Touch DR [5]. Данная программа автоматически строит зависимость уровней серого от расстояния, по которой можно определить толщину стенки исследуемой трубы.

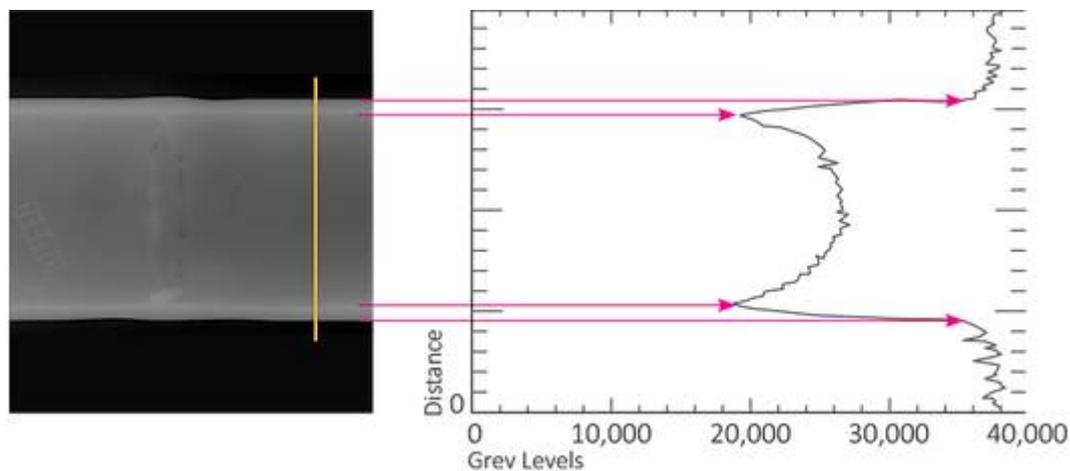


Рисунок 2.4 – Пример измерения толщин стенок трубы с помощью программного обеспечения NOVO Touch DR

Также данная программа позволяет производить автоматический расчёт толщины по образцу сравнения. На рисунке 2.5 представлен пример расчёта толщины трубы по образцу сравнения в программе NOVO Touch DR.

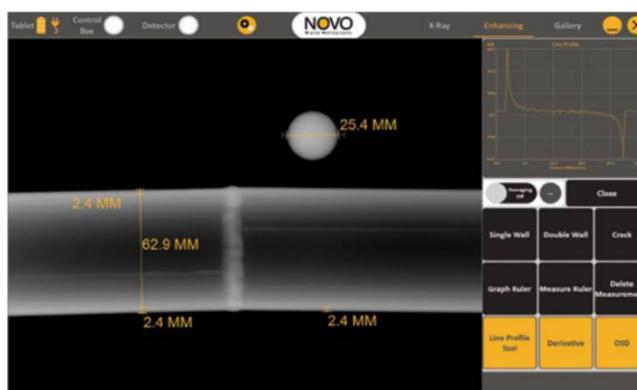


Рисунок 2.5. – Пример расчёта толщины стенок трубы по образцу сравнения в программе NOVO Touch DR

В таблице 2.1 представлены рентгеновские аппараты, используемые в толщинометрии [6].

Таблица 2.1 – Рентгеновские аппараты, используемые в толщинометрии

Модель	Максимальная потребляемая мощность, Вт	Максимальная толщина просвечивания, мм	Размер фокусного пятна, мм	Диапазон рабочих температур, °С	Цена, руб
РПД-250	1400	60	3x3	от -10°С до +40°С	646 000
АРИНА-9	300	85	2,5	от -40°С до +50°С	336 000
МАРТ-250	450	50	0,9x1,4	от -20°С до +40°С	730 000
Арион-600	200	110	3,0	от -30°С до +50°С	714 500
Моноскан 4	400	55	3,0	от -23°С до +50°С	2 400 933
Eresco 52 MF4-CL	600	52	0,5x5,5	от -40°С до +50°С	7 720 000
ICM Site-XS D2504	600	50	2,5x2,5	от -25°С до +70°С	–
CERAM 35	1500	64	2,5x2,5	от -25°С до +70°С	1 779 148
XXG-3505	3500	60	2,5x2,5	от -25°С до +70°С	610 185

Достоинства:

- отсутствие контакта с измеряемой поверхностью;
- отсутствие требований к подготовке поверхностей;
- приемлемый диапазон рабочих температур;
- максимальная толщина просвечивания 110 мм.

Недостатки:

- большие габаритные размеры;

- высокая стоимость и дорогостоящие расходные материалы;
- высокие требования к охране труда.

2.2 Электромагнитно-акустические толщинометры

Принцип работы данных толщиномеров основан на проявлениях трёх эффектов взаимодействия электромагнитного поля с объектом контроля:

- магнитоstrictionного
- магнитного
- электродинамического

Т.к., в соответствии с техническим заданием, объектом контроля является немагнитная электропроводящая легкосплавная буровая труба, то на неё будет действовать только электродинамический эффект. Данный эффект заключается в возбуждении в объекте контроля вихревых токов и взаимодействии их магнитного поля с постоянным магнитным полем преобразователя.

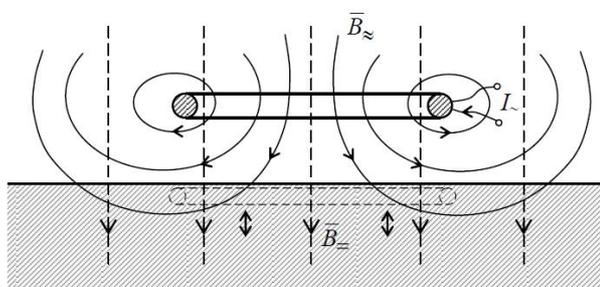


Рисунок 2.6 – Электродинамический эффект

Магнитное поле вихревых токов изменяет своё направление с частотой тока возбуждения. Вследствие этого поверхностный слой объекта будет притягиваться и отталкиваться от источника постоянного магнитного поля, возбуждая в объекте контроля акустические волны.

В таблице 2.2 приведены электромагнитно-акустические толщинометры [7].

Таблица 2.2 – Электромагнитно-акустические толщиномеры

Модель	Диапазон измеряемых толщин, мм	Погрешность измерения толщины Т, мм	Допустимый зазор между прибором и объектом контроля, мм	Максимальное количество измерений в секунду	Диапазон рабочих температур, °С	Цена, руб
ЭМАТ-100	3...100	$\pm(0,001 \cdot T + 0,1)$	1	30	0...+40	82 450
УТ-04 ЭМА Дельта	2...20 20...100	$\pm 0,06$ $\pm(0,001 \cdot T + 0,06)$	3	30	-20...+60	-
Диаконт	2...20 20...30	$\pm 0,1$ $\pm 0,4$	3	-	-20...+45	-
EM1301	1...60	$\pm 0,04$	3	30	-20...+50	-
EM1401	2...60	$\pm 0,04$	6	30	-20...+50	180 000
EM2210	2...60	$\pm 0,04$	2	16	-20...+50	134 600
A1270	0,7...100	$\pm(0,01 \cdot T + 0,01)$	1,5	10	-30...+50	245 000
NKD-019E	0,15...100	$\pm 0,01$ $\pm 0,001$ (в режиме накопления данных)	4	-	-10...+50	-
Kropus	2...60	0,04	2	16	-20...+50	132 000

Достоинства:

- бесконтактное измерение;
- возможность контроля немагнитных материалов;
- высокая скорость измерения;
- малая погрешность измерения;
- приемлемый диапазон рабочих температур;
- источник акустической волны может выполнять роль приёмника.

Недостатки:

- эффективность уменьшается с увеличением зазора между преобразователем и объектом по экспоненциальному закону;
- чувствителен к помехам от электрических разрядов;

- максимальное расстояние от поверхности датчика до поверхности объекта контроля составляет 6 мм.

2.3 Вихретоковые толщиномеры

Принцип действия данных толщиномеров основан на возбуждении в электропроводящем объекте вихревых токов, магнитное поле которых зависит от параметров объекта.

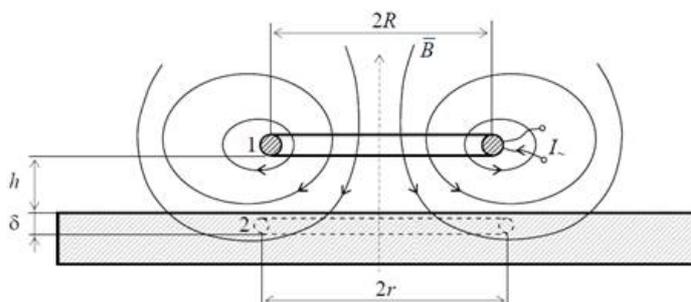


Рисунок 2.7 – Вихретоковое преобразование

В таблице 2.3 приведены характеристики вихретокового толщиномера стенок алюминиевых бурильных труб ТВТ–3 [1].

Таблица 2.3 – Вихретоковый толщиномер ТВТ–3

Параметры	Значения
Диапазон измеряемых толщин, мм	от 7 до 12
Погрешность прибора, мм	$\pm 0,15$
Разрешающая способность на площади измерения, мм	60*60
Потребляемая мощность, Вт	150
Питание от сети переменного тока, В	220 (50 Гц)
Габаритные размеры, мм	300x280x220
Масса прибора, кг	10

В таблице 2.4 приведены характеристики вихретокового толщиномера ВТ-15.01 [8], разработанного в НИТПУ для измерения толщины стенок легкосплавных бурильных труб.

Таблица 2.4 – Вихретоковый толщиномер ВТ-15.01

Параметры	Значения	
Диапазон измеряемых толщин, мм	от 6 до 15	
Номинальный зазор между преобразователем и объектом контроля, мм	от 3 до 12	
Основная абсолютная погрешность измерения при номинальном зазоре и отклонении электропроводности материала трубы от номинального значения не более чем на $\pm 10\%$, мм	при зазоре от 6 до 9 мм	не более ± 0.2 мм
	при зазоре от 9 до 15 мм	не более ± 0.5 мм
Питание от сети переменного тока, В	230 (50 Гц)	
Диапазон рабочих температур, °С	от 5 до 40	

Достоинства:

- можно использовать для немагнитных материалов;
- простота реализации;
- можно обеспечить устойчивость к электромагнитным помехам;
- не требуется контакта с поверхностью;
- высокая скорость измерения;
- малая погрешность измерения;
- широкий диапазон измеряемых толщин;
- возможность автоматизации;
- на сигналы преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязнённость газовой среды;
- работа в широком интервале температур.

Недостатки:

- магнитное поле затухает по глубине
- многопараметровость измеряемого сигнала, что требует разработки специальных приёмов для подавления ненужных сигналов

3 Вихретоковое измерительное преобразование

3.1 Физический принцип вихретокового измерительного преобразования

Данное измерительное преобразование основано на анализе параметров электромагнитного поля вихревых токов, наводимых в электропроводящем объекте внешним переменным электромагнитным полем. На рисунке 3.1 изображён принцип возбуждения вихревых токов внешним электромагнитным полем.

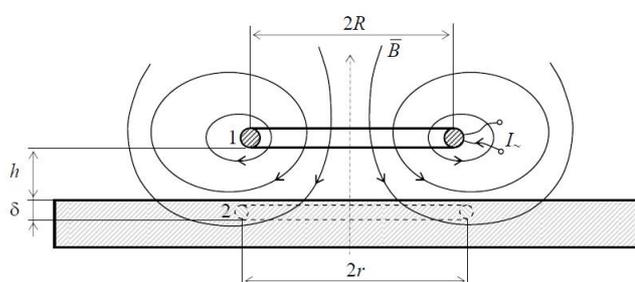


Рисунок 3.1 – Принцип возбуждения вихревых токов внешним электромагнитным полем

1 – обмотка возбуждения, 2 – контур вихревых токов

Когда переменный электрический ток протекает по обмотке возбуждения он создаёт переменное магнитное поле. Если это поле поместить вблизи электропроводящего объекта, то оно создаст в нём переменный магнитный поток. В соответствии с законом электромагнитной индукции переменный магнитный поток создаст вихревое электрическое поле, которое приведёт к появлению в объекте электрического тока. Т.к. данный электрический ток совпадает по направлению с линиями напряжённости индуцируемого электрического поля, то он также имеет вихревой характер. Вихревые токи замыкаясь в электропроводящем объекте, образуют вихреобразные контуры, которые будут сцепляться с индуцирующим их магнитным потоком. Так, как вихревые токи имеют собственное магнитное поле, то по закону Лоренца оно будет противодействовать изменению магнитного потока, которое создаёт вихревые токи. Данное магнитное поле несёт в себе информацию об амплитуде,

фазе и пространственном распределении вихревых токов. Измеряя эти параметры можно получить информацию о магнитной проницаемости, электрической проводимости и толщине объекта контроля.

3.2 Особенности вихретокового измерительного преобразования

Вихретоковое измерительное преобразование имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать при измерении параметров объекта контроля.

Первой такой особенностью является то, что магнитное поле преобразователя затухает по мере его проникновения в объект контроля. Это связано с тем, что электромагнитное поле вихревых токов противоположно направлено возбуждающему электромагнитному полю, что приводит к затуханию результирующего поля по глубине. Формула для приближенной оценки глубины проникновения:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}} \quad (3.1)$$

где ω – круговая частота тока возбуждения, рад/с

σ – удельная электрическая проводимость материала, См/м

μ – абсолютная магнитная проницаемость материала, Гн/м

По данному выражению видно, что регулировка частоты тока возбуждения, при постоянстве удельной электрической проводимости и абсолютной магнитной проницаемости, позволит подобрать необходимую глубину проникновения в материал.

Ещё одной немало важной особенностью является то, что плотность вихревых токов максимальна для контуров, радиус r которых при отсутствии зазора между обмоткой и поверхностью объекта равен радиусу обмотки R . На рисунке 3.2 представлено радиальное распределение плотности вихревых токов в токопроводящей среде.

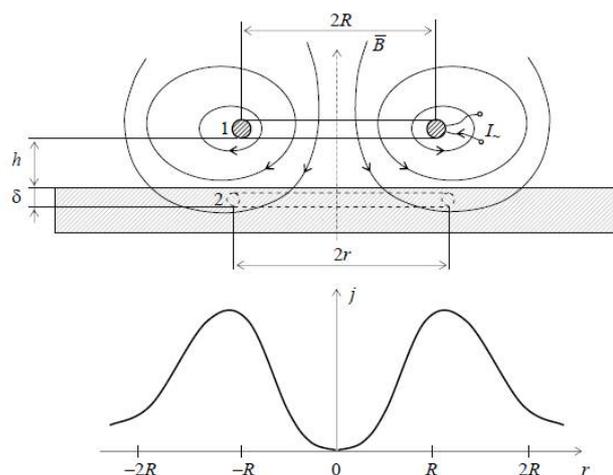


Рисунок 3.2 – Радиальное распределение плотности вихревых токов в токопроводящей среде

Увеличение зазора приводит к возрастанию радиуса контура максимальной плотности r_m [9]:

$$r \approx R + 0.75h \quad (3.2)$$

Это связано с тем, что максимальное значение плотности вихревых токов соответствует контуру, имеющему наибольшее значение взаимной индуктивности с контуром обмотки возбуждения.

3.3 Классификация вихретоковых преобразователей

Для возбуждения вихревых токов и получения информации о их магнитном поле используются преобразователи. Существующие разновидности вихретоковых преобразователей (ВТП) можно классифицировать по нескольким признакам [10].

По рабочему положению относительно объекта контроля:

- Накладные
- Проходные
- Комбинированные
- Экранные

По виду преобразования параметров объекта в выходной сигнал:

- Трансформаторные

- Параметрические

По способу соединения обмоток:

- Абсолютные
- Дифференциальные

3.3.1 Накладные ВТП

Накладные вихретоковые преобразователи представляют собой одну или несколько катушек, к торцам которых подводится поверхность объектов. На рисунке 3.3 изображены конструкции накладных ВТП.

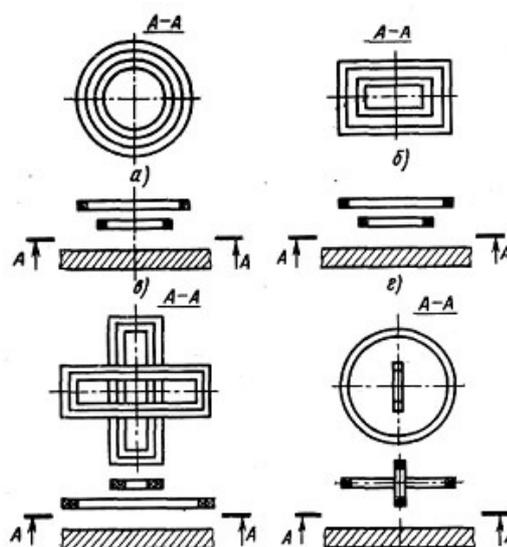


Рисунок 3.3 – Конструкции накладных ВТП

- а) с круглыми коаксиальными осями б) с прямоугольными осями
- в) с прямоугольными крестообразными осями г) с взаимно перпендикулярными осями

Достоинства:

- локальная и высокая чувствительность контроля;
- накладными ВТП контролируют объекты с плоскими поверхностями и объекты сложной формы.

Недостатки:

- неудобство измерения линейно-протяжных объектов.

3.3.2 Проходные ВТП

Проходные ВТП в процессе контроля могут проходить снаружи или внутри объекта, либо погружаться в жидкий объект контроля. В соответствии с этим данные ВТП делятся на:

- наружные (а, б, в)
- внутренние (г, д)
- погружные (е, ж)

На рисунке 3.4 представлены конструкции проходных ВТП.

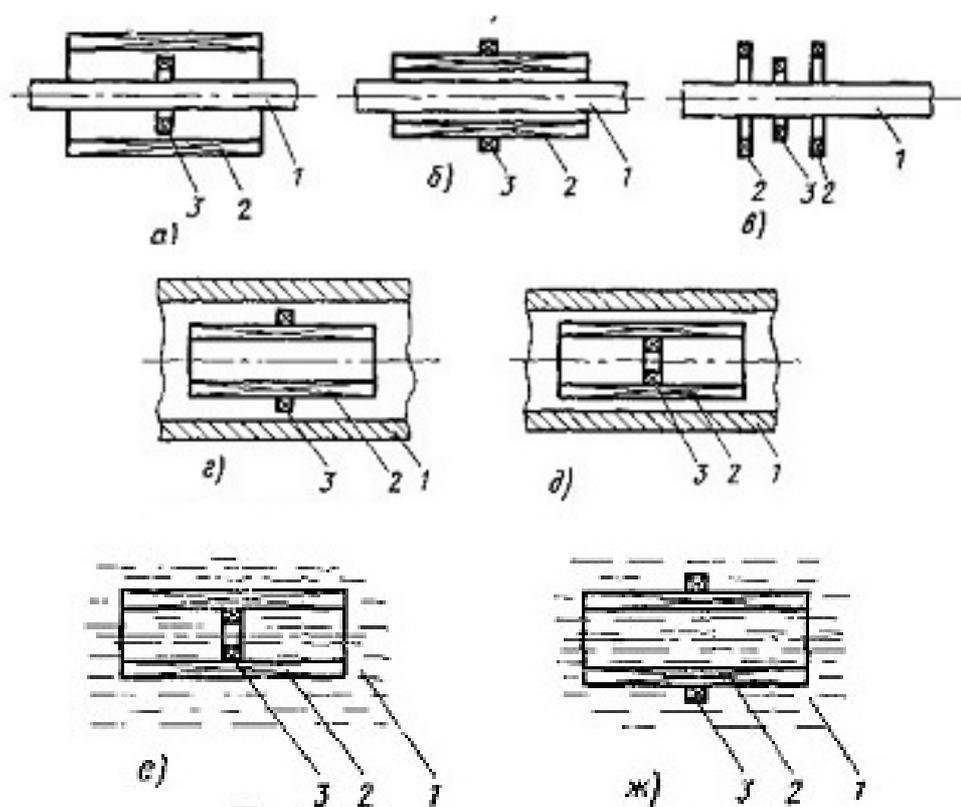


Рисунок 3.4 – Конструкции проходных ВТП

1–объект контроля, 2 – обмотка возбуждения, 3– обмотка измерения

Достоинства:

- удобство измерения линейно-протяжных объектов;
- малое влияние радиальных перемещений объекта.

Недостатки:

- интегральная оценка контролируемых параметров по периметру объекта, что говорит о том, что данные ВТП обладают меньшей чувствительностью к локальным вариациям свойств объекта контроля.

3.3.3. Комбинированные ВТП

Комбинированные ВТП – это комбинация накладных и проходных ВТП. На рисунке 3.5 представлены конструкции комбинированных преобразователей.

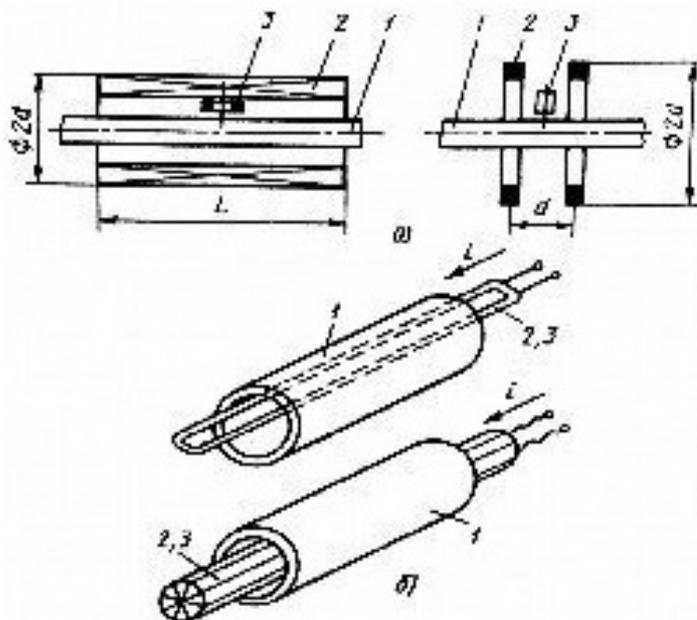


Рисунок 3.5 – Конструкции комбинированных ВТП

а) с проходной возбуждающей и накладной измерительными обмотками

б) линейные

1 – объект контроля, 2 – обмотка возбуждения, 3 – обмотка измерения

Недостатки:

- сильное влияние перекосов осей преобразователя относительно поверхности объекта контроля.

3.3.4 Экранные ВТП

В экранированных ВТП возбуждающие и измерительные обмотки разделены контролируемым объектом. На рисунке 3.6 представлена конструкция накладного комбинированного ВТП.

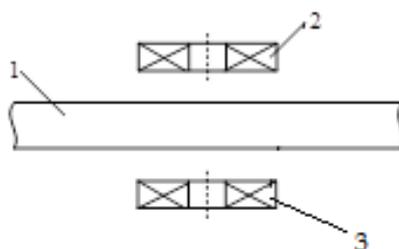


Рисунок 3.6 – Конструкция накладного экранного ВТП

1 – объект контроля, 2 – обмотка возбуждения, 3 – обмотка измерения

На рисунке 3.7 представлены конструкции проходных экранных ВТП.

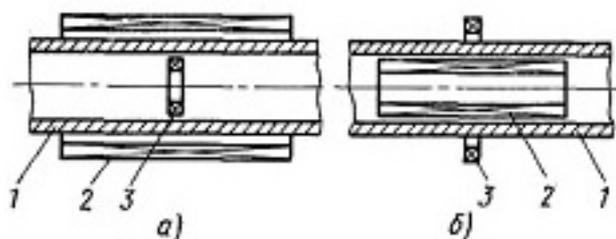


Рисунок 3.7 – Конструкции проходных экранных ВТП

а) первого типа б) второго типа

1 – объект контроля, 2 – обмотка возбуждения, 3 – обмотка измерения

Достоинства:

- данная конструкция ВТП, позволяет практически исключить влияние смещений объекта между обмотками измерения и возбуждения
- исключение взаимоиндуктивного влияния обмоток.

Недостатки:

- сложность реализации.

3.3.5 Трансформаторные ВТП

Трансформаторные вихретоковые преобразователи выполняются в виде двух обмоток: возбуждения и измерительной. На рисунке 3.8 представлена конструкция накладного трансформаторного вихретокового преобразователя.

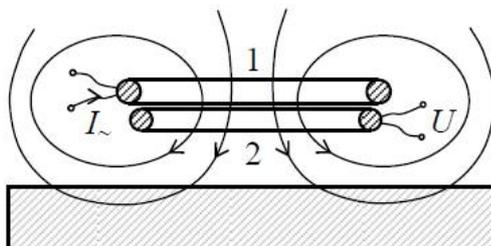


Рисунок 3.8 – Конструкция накладного трансформаторного вихретокового преобразователя

1 – обмотка возбуждения, 2 – измерительная обмотка

Информативным параметром в таких ВТП является комплексное напряжение \dot{U} измерительной обмотки:

$$\dot{U} = \dot{U}_0 + \dot{U}_{\text{вн}} \quad (3.3)$$

где U_0 – начальное напряжение, обусловленное магнитным полем обмотки возбуждения

$U_{\text{вн}}$ – вносимое напряжение, обусловленное магнитным полем вихревых токов

Достоинства:

- устойчивость от электромагнитных помех и других мешающих факторов.

Недостатки:

- взаимоиндуктивное влияние обмоток.

3.3.6 Параметрические ВТП

В параметрических вихретоковых преобразователях для возбуждения и измерения магнитного поля используется одна обмотка. На рисунке 3.9

представлена конструкция накладного параметрического вихретокового преобразователя.

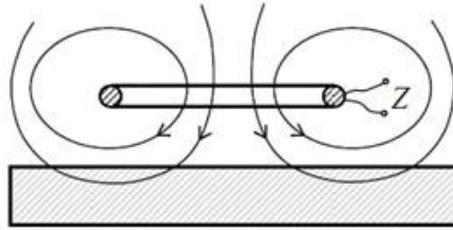


Рисунок 3.9 – конструкция накладного параметрического вихретокового преобразователя

В качестве информативного параметра в параметрических ВТП выступает комплексное электрическое сопротивление \dot{Z} :

$$\dot{Z} = \dot{Z}_0 + \dot{Z}_{\text{вн}} \quad (3.4)$$

где \dot{Z}_0 – начальное сопротивление, характеризующее электрические параметры обмотки в отсутствии объекта измерения

$\dot{Z}_{\text{вн}}$ – вносимое сопротивление, характеризующее электрические параметры обмотки при наличии в создаваемом ей магнитном поле объекта измерения

Достоинства:

- более простая конструкция и схема реализации;

Недостатки:

- зависимость выходного сигнала от температуры преобразователя.

3.3.7 Абсолютные ВТП

Абсолютные вихретоковые преобразователи характеризуются таким способом соединения обмоток, при котором выходной сигнал определяется абсолютным значением параметров объекта. На рисунке 3.10 представлена схема проходного абсолютного ВТП.

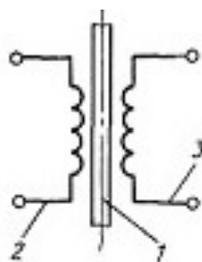


Рисунок 3.10 – Схема проходного абсолютного ВТП

1 – объект контроля, 2 – обмотка возбуждения, 3 – обмотка измерения

Такое соединение обмоток целесообразно применять для измерения абсолютных параметров объекта контроля, его размеров и толщины покрытий.

3.3.8 Дифференциальные ВТП

Дифференциальные вихретоковые преобразователи характеризуются таким соединением обмоток, при котором выходной сигнал определяется разностью сигналов этих обмоток. Такое соединение позволяет отслеживать изменение параметров объекта контроля и поэтому оно чаще всего используется в дефектоскопии. На рисунке 3.11 представлена схема проходного дифференциального трансформаторного ВТП.

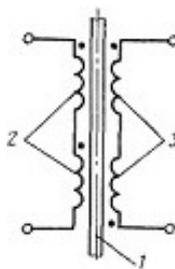


Рисунок 3.11 – Схема проходного дифференциального трансформаторного ВТП

1 – объект контроля, 2 – обмотка возбуждения, 3 – измерительная обмотка

Существует две схемы подключения дифференциального ВТП:

- схема сравнения со стандартным образцом
- схема самосравнения

В первом случае рабочий и образцовый ВТП не связаны индуктивно и имеют независимые измерительные и возбуждающие обмотки. Во втором возбуждающая обмотка часто служит общей для двух измерительных.

3.4 Параметры, влияющие на сигнал ВТП

3.4.1 Зависимость выходного сигнала ВТП от параметров объекта контроля

Многопараметровость вихретокового метода позволяет измерять различные параметры объекта, что выгодно его отличает от других методов, однако вызывает необходимость отстройки от лишних параметров, которые оказывают мешающее воздействие на измерительный сигнал.

На рисунке 3.12 представлен накладной ВТП трансформаторного типа.

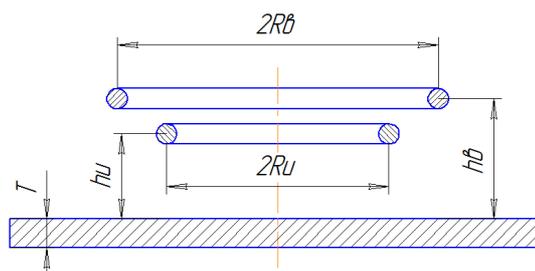


Рисунок 3.12 – Накладной ВТП трансформаторного типа

На сигнал преобразователя влияют такие параметры, как обобщенный зазор $h^*=(h_b+h_u)$, относительная толщина $T^*=T/R$ и обобщенный параметр $\beta = R\sqrt{\omega\sigma\mu_0}$, где R – большее из значений R_b и R_u . Так как сигналы, снимаемые с преобразователя, могут быть представлены в виде векторов на комплексной плоскости, то их зависимости от геометрических и электромагнитных параметров объекта контроля можно представить с помощью годографов. Ниже представлены годографы накладных преобразователей трансформаторного типа для немагнитных электропроводящих объектов контроля.

На рисунке 3.13 представлены годографы относительного вносимого напряжения при изменении обобщённого параметра β (сплошные линии) и зазора h^* (штрихпунктирные линии).

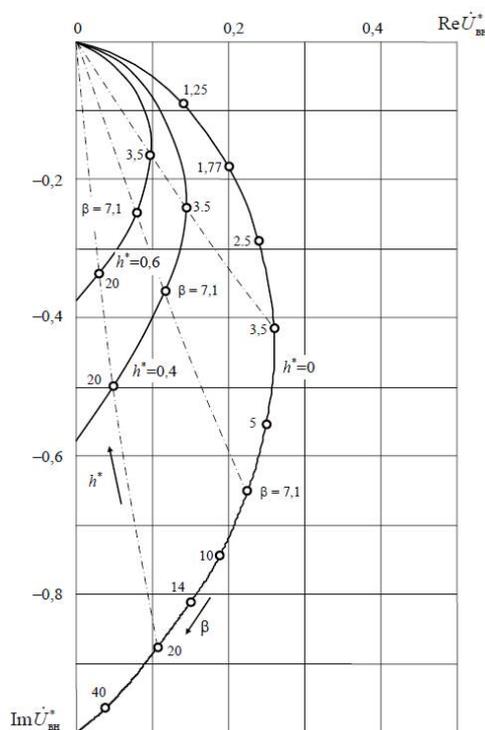


Рисунок 3.13 – Годографы относительного вносимого напряжения при изменении обобщённого параметра β и зазора h^* для накладного ВТП трансформаторного типа

При нулевом зазоре возрастание β приводит к монотонному увеличению амплитуды и фазы сигнала. С увеличением зазора наблюдается монотонное уменьшение амплитуды относительного вносимого напряжения по закону близкому экспоненциальному, при этом фаза относительного вносимого напряжения практически не изменяется.

На рисунке 3.14 представлены годографы относительного вносимого напряжения при изменении обобщённого параметра β и толщины T^* . Сплошной линией показан годограф от изменения обобщённого параметра для T , стремящегося к ∞ , а штрихпунктирной для T , стремящегося к 0. Зазор, во всех случаях, равен нулю.

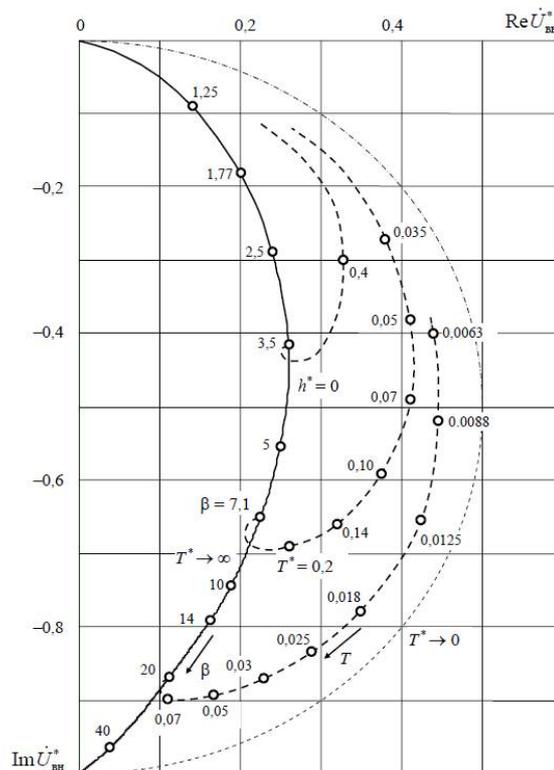


Рисунок 3.14 – Годографы относительного вносимого напряжения при изменении обобщённого параметра β и толщины T^* для накладного ВТП трансформаторного типа

При увеличении толщины объекта контроля наблюдается возрастание амплитуды и сдвига фаз сигнала. Зависимости амплитуды и фазы от толщины относительного вносимого напряжения имеют монотонный характер до значений толщины, соизмеримых с глубиной проникновения электромагнитного поля.

3.4.2 Способы отстройки от мешающих параметров

Существует три способа отстройки от мешающих параметров [11]:

- Амплитудный
- Фазовый
- Амплитудно-фазовый

Первый способ применяется, если мешающий параметр влияет только на фазу сигнала. В таком случае за информативный параметр принимается

амплитуда сигнала, по изменению которой можно судить об измеряемом параметре. При этом изменение фазы не влияет на показания прибора. Данный способ реализуется с помощью амплитудного детектора.

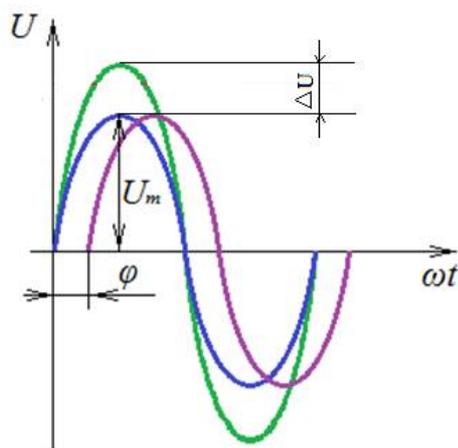


Рисунок 3.15. – Амплитудный способ отстройки

В случае если мешающий параметр влияет только на амплитуду, то целесообразно использовать фазовый способ, при котором за информативный параметр принимается фаза сигнала. Данный способ реализуется с помощью фазового детектора.

В случае, если мешающий параметр оказывает влияние сразу на несколько параметров измерительного сигнала, то в таком случае следует использовать амплитудно-фазовый метод, который реализуется с помощью амплитудно-фазового детектора.

3.4.3 Влияние краевого эффекта на сигналы ВТП и способы его устранения

Помимо перечисленных выше геометрических и электромагнитных параметров на сигнал ВТП действует, так называемый "краевой эффект". Его суть заключается в том, что при приближении преобразователя к краю объекта контроля изменяется форма контура вихревых токов, а, следовательно, и создаваемый ими магнитный поток, что приводит к искажению информации об измеряемом параметре.

Существует несколько способов устранения краевого эффекта [12]:

- применение ферритовых сердечников
- применение электропроводящих неферромагнитных экранов

Первый способ способствует увеличению абсолютной чувствительности преобразователя и уменьшению зоны контроля за счёт локализации магнитного потока. Однако ферритовый сердечник, в процессе работы преобразователя, нагревается, что приводит к возникновению тепловой погрешности.

Применение электропроводящих неферромагнитных экранов позволяет вытеснить магнитное поле из занятой ими зоны. Такие экраны размещаются в торцах преобразователей, что приводит к уменьшению влияния краевого эффекта, но при этом к ухудшению однородности электромагнитного поля в зоне контроля. Применение экранов с отверстиями снижает чувствительность вихретокового преобразователя, но при этом, повышает его локальность. Повышению локальности ВТП, также, может способствовать применение комбинации кольцевых ферромагнитных сердечников с электропроводящими неферромагнитными экранами и короткозамкнутыми витками, которые будут вытеснять магнитный поток из сердечников в зону контроля.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов НТИ

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. В таблице 6.1 представлена карта сегментирования услуг по разработке толщиномеров.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования услуг по разработке толщиномеров

Вид предприятия	Выпускаемые толщиномеры	
	Толщиномеры стальных бурильных труб	Толщиномеры легкосплавных бурильных трубы
Производители бурильных труб		
Нефтегазовые компании		

Фирма "Октанта"

ЗАО "МНПО "Спектр"

НТЦ НК "Уран"

ООО "Специальные Научные Разработки"

Вывод: По полученной карте сегментирования видно, что все ниши по разработке толщиномеров бурильных труб заняты конкурентами, однако в разработках толщиномеров легкосплавных бурильных труб для предприятий, занимающихся производством данных труб уровень конкуренции ниже. Отсюда можно сделать вывод, что ориентироваться нужно именно на эту нишу. Так же нужно обратить внимание на нефтегазовые компании,

эксплуатирующие бурильные трубы так, как разрабатываемый толщиномер можно приспособить и для "полевых" условий.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведены в таблице 6.2. Данные критерии подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
1. Повышение производительности труда пользователя	0,05	5	5	3	3	0,25	0,25	0,15	0,15
2. Удобство в эксплуатации	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
3. Необходимый диапазон толщин	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
4. Энергоэкономичность	0,04	5	4	5	5	0,2	0,16	0,2	0,2
5. Надежность	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
6. Безконтактность измерений	0,05	5	5	2	2	0,25	0,25	0,1	0,1

Продолжение таблицы 6.2

7. Безопасность	0,05	5	4	5	5	0,25	0,2	0,25	0,25
8. Функциональная мощность	0,05	5	5	4	4	0,25	0,25	0,2	0,2
9. Простота эксплуатации	0,05	4	4	5	5	0,2	0,2	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности									
1. Конкурентоспособность продукта	0,05	5	4	4	4	0,25	0,2	0,2	0,2
2. Уровень проникновения на рынок	0,25	5	5	5	5	1,25	1,25	1,25	1,25
3. Цена разработки	0,03	5	2	3	3	0,15	0,06	0,09	0,09
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
5. Послепродажное обслуживание	0,03	5	5	5	5	0,15	0,15	0,15	0,15
6. Финансирование научной разработки	0,05	5	5	5	5	0,25	0,25	0,25	0,25
7. Сроки выхода	0,03	4	5	5	5	0,12	0,15	0,15	0,15
8. Наличие сертификации разработки	0,07	5	5	5	5	0,35	0,35	0,35	0,35
Итого	1	83	78	76	76	4,92	4,72	4,59	4,59

B_{ϕ} и K_{ϕ} – баллы и конкурентоспособность исследуемой разработки;

B_{K1} и K_{K1} – баллы и конкурентоспособность толщиномеров "Уран 3000С" производства НТЦ НК "Уран";

B_{K2} и K_{K2} – баллы и конкурентоспособность толщиномеров ЭМАТ-100 производства ЗАО "МНПО "Спектр";

B_{K3} и K_{K3} – баллы и конкурентоспособность толщиномеров УТ-04 производства ООО "Специальные Научные Разработки".

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (6.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Вывод: Из анализа видно, что данное НТИ обладает сравнительно высокой конкурентоспособностью. Это обусловлено тем, что данная разработка обладает повышенной производительностью труда и более низкой ценой по сравнению с остальными. Данный анализ в дальнейшем позволит выработать конкурентные преимущества, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

6.1.3 SWOT-анализ

С целью исследования внешней и внутренней среды проекта применен SWOT-анализ. Прежде чем составить матрицу SWOT требуется выявить сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы проекта.

Сильные стороны:

- C1. Более низкая стоимость по сравнению с другими разработками;
- C2. Наличие бюджетного финансирования;
- C3. Простота эксплуатации;
- C4. Большой диапазон толщин и зазоров по сравнению с другими разработками;
- C5. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний макета.

Слабые стороны:

Сл.1. Отсутствие прототипа разработки;

Сл.2. У разрабатываемого макета отсутствует автономный источник питания;

Сл.3. Не рассмотрен альтернативный вариант исполнения макета;

Сл.4. Отсутствуют некоторые необходимые образцы толщин;

Сл.5. В магазинах отсутствуют каркасы необходимого размера для изготовления более качественного вихретокового преобразователя.

Возможности:

В1. В лаборатории имеется типовой вихретоковый толщиномер, который можно использовать в качестве основы для изготовления прототипа;

В2. В корпусе имеется необходимое оборудование, которое в дальнейшем можно использовать для изготовления более качественного вихретокового преобразователя;

В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.

Угрозы:

У1. Усиление конкуренции на рынке;

У2. Сложность в достижении требуемых технических характеристик;

У3. Несвоевременное финансовое обеспечение проекта;

У4. Отсутствие в данном регионе необходимых комплектующих.

Далее требуется выявить соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. в таблице 6.3 представлена интерактивная матрица проекта.

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны							Слабые стороны				
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5	Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	V1	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-
	V2	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
	V3	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 6.3

Угрозы проекта	У1	+	-	+	+	-	+	-	-	-	-
	У2	-	-	-	+	-	-	-	+	+	+
	У3	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
	У4	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+

По полученным результатам составлена матрица SWOT-анализа (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны:	Слабые стороны:
	<p>С1. Более низкая стоимость по сравнению с другими разработками;</p> <p>С2. Наличие бюджетного финансирования;</p> <p>С3. Простота эксплуатации;</p> <p>С4. Большой диапазон толщин и зазоров по сравнению с другими разработками;</p> <p>С5. Наличие необходимого оборудования для проведения испытаний макета.</p>	<p>Сл.1. Отсутствие прототипа разработки;</p> <p>Сл.2. У разрабатываемого макета отсутствует автономный источник питания;</p> <p>Сл.3. Не рассмотрен альтернативный вариант исполнения макета;</p> <p>Сл.4. Отсутствуют некоторые необходимые образцы толщин;</p> <p>Сл.5. В магазинах отсутствуют каркасы необходимого размера для изготовления более качественного вихретокового преобразователя.</p>

Продолжение таблицы 6.4

<p>Возможности:</p> <p>В1. В лаборатории имеется типовой вихретоковый толщиномер, который можно использовать в качестве основы для изготовления прототипа;</p> <p>В2. В корпусе имеется необходимое оборудование, которое в дальнейшем можно использовать для изготовления более качественного вихретокового преобразователя;</p> <p>В3. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ.</p>	<p>В1С1</p> <p>В2С1С4</p> <p>В3С1</p>	<p>В1Сл1Сл2</p> <p>В2Сл5</p>
---	---------------------------------------	------------------------------

Вывод: В данном разделе были выявлены угрозы, сильные и слабые стороны проекта. Результаты анализа интерактивной матрицы в дальнейшем позволит выработать стратегию по уменьшению слабых сторон и влияния угроз на проект.

6.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В таблице 6.5 представлен бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации.

Таблица 6.5 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определён имеющийся научно-технический задел	4	5
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	1
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	2
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4

Продолжение таблицы 6.5

8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	2
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	3
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выход на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	38	42

Вывод: По результатам оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации можно сделать вывод, что на данный момент перспективность проекта средняя. Это связано с тем, что проект находится на

стадии макетирования, а уровень компетенций разработчика в области коммерциализации не достаточен. Исправить данную ситуацию можно путём привлечения специалистов из области коммерциализации.

6.1.5. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Для данного научно-исследовательского проекта целесообразнее использовать такие методы коммерциализации, как инжиниринг и организация собственного предприятия. Это связано с тем, что оба метода позволят получать постоянный доход с разработки, а инжиниринг, в дополнение, будет способствовать её совершенствованию. На данном этапе, ориентация на перечисленные методы повысит требования к взаимозаменяемости комплектующих изделия, что повлечёт за собой упрощение системы и уменьшение себестоимости прибора.

6.2 Разработка устава научно-технического проекта

6.2.1 Цели и результаты НТИ

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Информация о заинтересованных сторонах проекта представлена в таблице 6.6. Под заинтересованными сторонами проекта понимают лица или

организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта.

Таблица 6.6 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Студент	Готовая выпускная квалификационная работа
Руководитель проекта	Получение готовой технической и технологической документации, изготовление и испытание макета

Таблица 6.7 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработать и изготовить рабочий макет вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб; 2. Минимизировать затраты на изготовление макета.
Ожидаемые результаты проекта	Получение рабочего макета системы с минимальной себестоимостью.
Критерии приёмки результата проекта	<ol style="list-style-type: none"> 1.Номинальный зазор между поверхностью трубы и вихретоковым преобразователем (ВТП) от 3 до 15 мм; 2. Диапазон измеряемых толщин от 6 до 15 мм; 3.Допустимая погрешность измерения толщины стенки труб не более ± 0.1 мм; 4.Рабочий температурный диапазон от 5 до 40°C.

Продолжение таблицы 6.7

Требования к результату проекта	Макет толщиномера должен обеспечивать выполнение требований технического задания. Себестоимость изготовления должна быть минимальной.
--	---

Вывод: В данном разделе поставлена цель проекта, описаны ожидаемые результаты, а также выдвинуты требования к результатам проекта. Заинтересованными сторонами данного НТИ являются студент и руководитель проекта.

6.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

В рамках данной работы составлен перечень основных этапов и работ по проведению научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Исполнителями данного проекта являются студент и руководитель проекта. В таблице 6.8 представлена рабочая группа проекта.

Таблица 6.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1.	Студент	Исполнитель проекта	Выполнение расчетов, чертежей, изготовление макета, проведение экспериментов	2232

Продолжение таблицы 6.8

2.	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта	Координирует деятельность студента	124
ИТОГО:				2356

6.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничениями степени свободы участников команды проекта. Границы проекта – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованные в рамках данного проекта. В таблице 6.9 представлены ограничения проекта.

Таблица 6.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Сроки проекта:	10.09.2017-02.06.2019
1.1. Дата утверждения плана управления проектом	20.02.2019
1.2. Дата завершения проекта	27.05.2019

Вывод: В данном разделе были поставлены цели и задачи, была построена организационная структура, и определены ограничения и допущения научно-технического проекта.

6.3 Планирование процесса управления НТИ

6.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупнённой структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рисунке 6.1 представлена иерархическая структура данного НТИ.

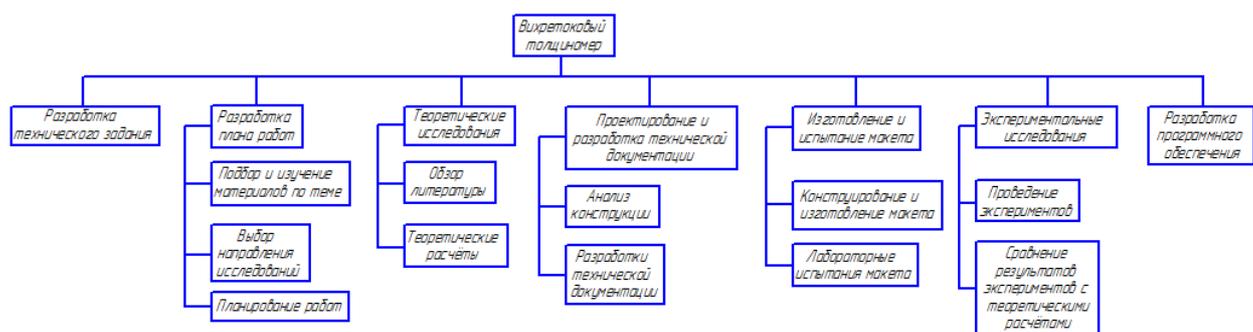


Рисунок 6.1 – Иерархическая структура работ проекта

6.3.2. Контрольные события проекта

В рамках данного проекта были определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Данная информация сведена в таблицу 6.10.

Таблица 6.10 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания	10.09.2017-14.09.2017	Техническое задание
2	Теоретические расчёты	14.10.2017-01.02.2018	Расчёт конструкции вихретокового преобразователя
3	Разработка технической документации	01.02.2018-01.05.2018	Чертёж конструкции вихретокового преобразователя, принципиальная электрическая схема блока усиления

Продолжение таблицы 6.10

4	Изготовление макета	01.05.2018- 01.10.2018	Рабочий макет вихретокового толщиномера
5	Экспериментальные исследования	01.10.2018- 01.03.2019	Экспериментальные зависимости
6	Разработка ПО вихретокового толщиномера	01.03.2019- 01.04.2019	Программа в графической среде LabVIEW

6.3.3. План проекта

В таблице 6.11 представлен линейный график проекта

Таблица 6.11 – Линейный график проекта

Код работ ы (из ИСП)	Название	Длите льност ь, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1	Составление технического задания	4	10.09.2017	14.09.2017	Якимов Е.В.
2	Изучение литературы	28	14.09.2017	30.09.2017	Полюшко Д.А.
3	Патентный поиск	6	30.09.2017	10.10.2017	Полюшко Д.А.
4	Выбор направления исследования	4	10.10.2017	14.10.2017	Полюшко Д.А. Якимов Е.В.
5	Этапы касающиеся разработки и изготовления макета	510	14.10.2017	01.04.2019	Полюшко Д.А. Якимов Е.В.
6	Оформление конечного варианта ВКР	26	01.04.2019	02.06.2019	Полюшко Д.А.
7	Защита	1	03.06.2019	03.06.2019	Полюшко Д.А.

В таблице 6.12 представлен календарный план-график проведения НИТ.

Таблица 6.12 – Календарный план-график проведения НТИ

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ						
				сентябрь 2017	октябрь 2017	ноябрь 2017	декабрь 2017	апрель 2019	май 2019	июнь 2019
1	Составление технического задания	Руководитель	4							
2	Изучение литературы	Студент	28							
3	Патентный поиск	Студент	6							
4	Выбор направления исследования	Руководитель, студент	4							
5	Этапы касающиеся разработки и изготовления макета	Руководитель, студент	510							
6	Оформление конечного варианта работы	Студент	26							
7	Защита	Студент	1							

Руководитель 
 Студент 

6.3.2 Бюджет проекта

Эта статья включает затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. В таблице 6.13 представлены материальные затраты, необходимые для разработки макета вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб.

Таблица 6.13 – Материальные затраты, необходимые для разработки макета вихретокового толщиномера легкосплавных бурильных труб

Наименование	Количество, шт	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Шпилька БШМ	1	49	49
Флюс ЛТИ-120	1	85	85
Дихлорэтан	1	60	60
Стабилизатор напряжения L7912	1	31	31
Стабилизатор напряжения L7812	1	29	29
Разъём DRB-9FA	2	18	36
Разъём DPS-9M	2	26	52
Разъём DB-9M	1	13	13
Разъём DHS-44M	1	50	50
Разъём DPT-25C	1	15	15
Корпус к разъёму DNT-9C	2	37	74
Радиатор FK11	2	32	64
Резистор C2-29 0.125 0.1%	5	15	75
Резистор C2-29 0.25 0.1%	2	25	50
Конденсатор X7R 1.0uF 10%	1	10	10
Итого			693

Специальное оборудование для реализации данного проекта имелось в лаборатории, поэтому затраты на его приобретение отсутствуют.

Вывод: Материальные затраты на приобретение всех необходимых материалов составили 693 рубля.

6.3.3 Риски проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. В таблице 6.14 представлен реестр рисков.

Таблица 6.14 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Технический	Изменение структуры системы вихретокового толщиномера	3	3	средний	Разработка гибкой структуры системы	Невозможность достичь требуемых характеристик прибора
2	Внешний	Изменение структуры системы вихретокового толщиномера	3	3	средний	Отслеживание рыночной ситуации	Изменение требований технического задания вследствие изменения конкурентной ситуации на рынке
3	Организационный	Задержка сроков изготовления готового прибора	3	3	средний	Найти альтернативные источники финансирования	Несвоевременное финансовое обеспечение проекта
		Задержка сроков изготовления готового прибора и увеличение себестоимости	4	4	высокий	Найти в другом регионе наиболее выгодные по цене комплектующие	Отсутствие в данном регионе необходимых комплектующих

Вывод: На данном этапе выявлены возможные риски, которые могут повлиять на проект и разработаны способы их смягчения.

6.4. Определение ресурсной эффективности проекта

На данном этапе требуется определить показатели ресурсной эффективности данной разработки. В таблице 6.15 представлена сравнительная оценка характеристик трёх вариантов исполнения проекта. Первый вариант (текущий проект) это исполнение вихретокового толщиномера в виде системы состоящей из небольшой электронной платы, подключённой к ПК, где основную математическую обработку будет выполнять программа. Вторым вариантом (аналог 1) представляет собой ту же систему с ПК, единственным отличием является то, что основная математическая обработка реализуется не программно, а с помощью электроники. Третий вариант (аналог 2) представляет собой полноценный не стационарный электронный прибор, предназначенный для эксплуатации в "полевых" условиях.

Таблица 6.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	4	5
3. Помехоустойчивость	0,1	5	5	5
4. Энергосбережение	0,1	4	4	5
5. Надёжность	0,2	5	4	5
6. Материалоёмкость	0,25	5	2	2

Продолжение таблицы 6.15

Итого:	1	28	24	25
--------	---	----	----	----

Интегральный показатель ресурсоэффективности находится по формуле:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i \quad (6.2)$$

где a – весовой коэффициент параметра

b – оценка в баллах

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности для текущего проекта:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 = 4,75$$

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности для аналога 1:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 2 = 3,8$$

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности для аналога 2:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i = 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,25 \cdot 2 = 3,85$$

Вывод: Основываясь на полученных результатах расчётов, можно сделать вывод, что наибольшей ресурсной эффективностью обладает текущий вариант проекта.

Список публикаций

1. Полюшко Д.А. Вихретоковый преобразователь для толщиномера легкосплавных бурильных труб // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации (Сангиновские чтения №10): труды Международной научно-практической конференции. В 7-и частях, Караганда, 14-15 Июня 2018. – Караганда: КарГТУ, 2018 – Т.3 – С.260-262.

2. Полюшко Д.А. Программная реализация математической обработки сигналов, полученных при измерении толщины стенок легкосплавных бурильных труб вихретоковым методом // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов, VII Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых учёных/Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 53 с.