

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

---

Институт	Неразрушающего контроля
Направление подготовки	Приборостроение
Кафедра	ФМПК

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
Разработка вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб УДК 621.713.38:620.179.141:622.24.053

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Устюгов Даниил Андреевич		

Руководитель

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
Ассистент	Николаенко В.С.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Анищенко Ю.В.	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав.кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФМПК	Суржиков А.П.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин ООП магистратуры; понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения; демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи	Требования ФГОС (ПК-1-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Анализировать состояние научно-технической проблемы путём подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников; определять цели, осуществлять постановку задач проектирования приборов наноэлектроники, схем и устройств различного функционального назначения с использованием современной элементной базы наноэлектроники, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач.	Требования ФГОС (ПК-16), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени; разрабатывать физические и математические модели элементов наноэлектроники, компьютерное моделирование исследуемых физических процессов, приборов, схем и устройств, относящихся к профессиональной сфере	Требования ФГОС (ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научно-технические отчёты, обзоры, рефераты, публикации по результатам выполненных исследований, доклады на научные конференции и семинары, научные публикации в центральных изданиях и заявки на изобретения	Требования ФГОС (ПК-20), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Работать в качестве преподавателя в образовательных учреждениях среднего профессионального и высшего профессионального образования по учебным дисциплинам предметной области данного направления под руководством профессора, доцента или старшего	Требования ФГОС (ПК-26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень. Самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности	Требования ФГОС (ОК-1; ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов. Участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта	Требования ФГОС (ОК-9; ПК-23), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении. Проявлять инициативу, в том числе в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-25), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способность использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов	Требования ФГОС (ОК-4, ПК-19), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Обладать способностью к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки – Приборостроение  
Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Суржиков А.П.  
(Подпись) (Дата)

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

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5А	Устюгову Даниилу Андреевичу

Тема работы:

Разработка вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб	
Утверждена приказом директора ИНК (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Произвести обзор методов и средств контроля толщины стенок легкосплавных бурильных труб</li><li>2. Разработать метод цифровой обработки сигналов для вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб со следующими характеристиками: Параметры контролируемых труб: Номинальный зазор между поверхностью трубы и вихретоковым преобразователем (ВТП) от 2 до 12 мм Толщина стенки от 7 до 15 мм Допустимая погрешность измерения толщины стенки труб не более <math>\pm 0.2</math> мм. Быстродействие системы не менее 5 измерений в секунду.</li></ol>
---------------------------------	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор существующих методов и средств контроля толщины стенок легкосплавных бурильных труб. 2. Разработка метода цифровой обработки сигналов для вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб. 3. Разработка вспомогательного оборудования для вихретокового толщиномера для легкосплавных труб
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Принципиальная схема блока усиления, Алгоритм программы для снятия зависимостей амплитуды и фаз сигналов ВТП от зазора и толщины
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко Валентин Сергеевич
Иностранный язык	Вебер Юлия Юрьевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Разработка программного обеспечения установки для снятия зависимостей амплитуды и фазы сигналов ВТП от зазора и толщины	
Экспериментальная часть	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Устюгов Даниил Андреевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ5А	Устюгов Даниилу Андреевичу

<b>Институт</b>	Неразрушающего контроля	<b>Кафедра</b>	ФМПК
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Затраты на выполнение НИР включают в себя затраты на сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, основную и дополнительную заработную платы исполнителей, отчисления на социальные нужды, накладные расходы
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	НИР выполнялась в соответствии со стандартной системой налогообложения, отчислений, кредитования

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

1. Предпроектный анализ	Определение потенциальных потребителей результатов исследования и анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, оценка готовности проекта к коммерциализации. Проведения FAST анализа.
2. Инициация проекта	Информация о заинтересованных сторонах проекта, цели и ожидаемые результаты НИР, трудозатраты и функции исполнителей проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектом	Составление перечня этапов и работ по выполнению НИР, составление калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов
4. Оценка сравнительной эффективности исследования	Расчёт интегрального показателя эффективности НИР, за счёт определения его основных составляющих: финансовой эффективности и ресурсоэффективности

### Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
2. Функционально-стоимостная диаграмма
3. График проведения и бюджет НТИ
4. Календарный план проекта
5. Длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе (диаграмма Гантта)
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

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

### Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

### Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ5А	Устюгов Даниил Андреевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 1БМ5А	ФИО Устюгову Даниилу Андреевичу
-----------------	------------------------------------

Институт	ИНК	Кафедра	ФМПК
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Разрабатываемым устройством является вихретоковый толщиномер для легкосплавных бурильных труб, который применяется при технической диагностике труб.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов, которые может создать устройство. 1.2. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.	Толщиномер является источником следующих опасных и вредных факторов: -повышенный уровень электромагнитных излучений; -повышенный уровень статического электричества; -недостаточное освещение; -повышенный уровень шума; -поражение электрическим током.
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	Факторы, оказывающих негативное влияние на окружающую среду при разработке и эксплуатации проектируемого устройства, отсутствуют.
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможно возникновение пожара
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	Рациональная планировка рабочей зоны, требования для основных элементов управления проектируемого устройства.

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

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5А	Устюгов Даниил Андреевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 91 с., 39 рис., 19 таблиц, 48 источников, 1 приложения.

Ключевые слова: вихретоковый метод, легкосплавные бурильные трубы, измерение толщины стенок легкосплавных бурильных труб, цифровая обработка сигналов, виртуальный прибор LabVIEW.

Объектом исследования является вихретоковый толщиномер для легкосплавных бурильных труб.

Цель работы – Разработка метода цифровой обработки сигналов для вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб, экспериментальное подтверждение возможности применения цифровой обработки сигналов в вихретоковом толщиномере.

В процессе работы проводились:

- исследование основных методов контроля толщины стенок легкосплавных бурильных труб;
- разработка вспомогательного оборудования вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб;
- разработка программного обеспечения установки для снятия зависимостей амплитуды и фазы сигналов вихретокового преобразователя от зазора и толщины;
- проведение экспериментальных исследований с помощью установки для снятия зависимостей амплитуды и фазы сигналов вихретокового преобразователя от зазора между трубой и толщины стенки легкосплавной трубы;

В результате исследования реализована установка для снятия зависимостей амплитуды и фазы сигналов от зазора и толщины, являющаяся основой для создания промышленного вихретокового толщиномера.

В будущем планируется создание промышленного вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб.

## Оглавление

Введение.....	12
1 Литературный обзор .....	14
1.1 Легкосплавные бурильные трубы .....	14
1.2 Методы измерения толщины стенок легкосплавных бурильных труб. ....	17
1.2.1 Ультразвуковой метод.....	17
1.2.2 Электромагнитно-акустический метод.....	21
1.2.3 Радиографический метод .....	25
1.2.4 Вихретоковый метод .....	28
2 Разработка аппаратуры для исследования зависимостей амплитуды и фазы сигналов ВТП от зазора и толщины .....	34
2.1 Структурная схема вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб .....	34
2.1.1 Плата сбора данных .....	35
2.1.2 Вихретоковый преобразователь .....	36
2.1.3 Генератор .....	36
2.1.4 Блок усиления.....	37
3 Разработка программного обеспечения установки для исследования зависимостей амплитуды и фазы сигналов ВТП от зазора и толщины.....	40
3.1 Алгоритм программы для исследования зависимостей амплитуды и фазы сигналов ВТП от зазора и толщины .....	40
3.2 Блок-диаграмма программы для исследования зависимостей амплитуды и фазы сигналов ВТП от зазора и толщины.....	42
4 Экспериментальная часть .....	53
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	59
5.1. Предпроектный анализ.....	59
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	59
5.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	60
5.1.3 Fast-анализ .....	61
5.2. Инициация проекта.....	63
5.3. Планирование управления научно-техническим проектом .....	64



5.3.1 План проекта .....	64
6 Социальная ответственность .....	72
6.1 Производственная безопасность .....	72
6.1.1 Повышенный уровень электромагнитных излучений .....	73
6.1.2 Повышенный уровень статического электричества.....	74
6.1.3 Повышенный уровень шума .....	74
6.1.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	75
6.1.5 Поражение электрическим током .....	76
6.2.1 Экологическая безопасность .....	77
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	78
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
6.5 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	79
Заключение .....	83
Список публикаций студента .....	85
Список использованных источников .....	87
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	92

## **Введение**

В нынешнее время из-за развития технологии и повышение сложности бурения повышается стоимость бурового оборудования. Надежность работы бурового оборудования занимает важное место среди факторов, определяющие технические и экономические показатели проводки и эксплуатации скважин. Также появляются специфические задачи такие как сверхглубокое, горизонтальное и наклонное бурение, которые влекут за собой рост денежных затрат при ликвидации аварий [1].

Бурильные трубы являются одними из наиболее важными объектами на буровой. Они связывают между собой наземное и подземное буровое оборудование и выполняют задачи такие как [2]: передача от ротора вращающего момента к долоту; доставка бурового раствора; формирование нагрузки на долото; подъема и спуска подземного бурового оборудования; проведение вспомогательных работ.

Сейчас при бурении нефтегазовых скважин все чаще используют легкосплавные трубы на основе сплавов алюминия, которые имеют ряд полезных физико-механических особенностей [3], которые выгодно отличают их от стальных.

К особенностям труб из сплавов алюминия относятся: низкая удельная масса; низкие значения модулей продольного сдвига и упругости; коррозионную стойкость; парамагнитные и виброгасящие свойства.

В процессе эксплуатации в скважине бурильные трубы [4] подвергаются различному влиянию механических и химических факторов: знакопеременные напряжения механической природы, абразивное изнашивание при трении наружных поверхностей о стенки скважины или обсадную колонну и так далее. В данных условиях в трубах происходят процессы эрозии и износа, которые ухудшают прочностные характеристики труб и что приводит к повреждениям разного рода.

В данных условиях чрезвычайно важна своевременная отбраковка труб с повышенным износом стенки, так как утонение сверхдопустимого уровня

приводит к разрушению трубы в процессе бурения [5], что является достаточно серьезной аварией, неумелая ликвидация которой может привести к поломкам бурового оборудования, инструмента и гибели скважины.

## 1 Литературный обзор

### 1.1 Легкосплавные бурильные трубы

Легкосплавными бурильными трубами (ЛБТ) являются трубы, которые выполнены из сплавов на основе алюминия. ЛБТ обладают рядом преимуществ по сравнению со стальными бурильными трубами [1,3]: малый вес, стойкость в агрессивных средах, парамагнитные и виброгасящие свойства, высокий предел прочности, низкий предел упругости.

Легкосплавные бурильные трубы применяются в эксплуатационном, разведочном, структурно-поисковом бурении и при капитальном ремонте скважин. На легкосплавные бурильные трубы приходится свыше 50% объема буровых работ в стране [6].

Легкосплавные бурильные трубы выполняют по [7] из алюминиевого сплава Д16Т [8], механические свойства которого приведены в таблице 1.1, методом прямого прессования на горизонтальных гидравлических прессах, после подвергают закалке, правке.

Таблица 1.1 – Механические свойства сплава Д16Т

Марка сплава	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %
Д16Т	460	325	12 - 24

Легкосплавные бурильные трубы делятся по форме сечения, по виду изготовления, по прочности, по точности изготовления [7]. Основные геометрические размеры ЛБТ приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Размеры легкосплавных бурильных труб

Вид	Диаметр, мм	Толщина законцовки, мм	Толщина основного тела трубы, мм
Трубы с внутренними концевыми утолщениями изготавливаемые без резьбы	от 54 до 108	от 13 до 27	от 7,5 до 9,5
Трубы с внутренними концевыми утолщениями, изготавливаемые с нарезанной резьбой и навинченными стальными замками	от 114 до 147	от 15 до 24	от 9 до 17
Трубы с внутренними концевыми утолщениями и протекторным утолщением, изготавливаемые с нарезанной резьбой и навинченными стальными замками	от 114 до 170	от 15 до 17	от 10 до 13

Бурильные трубы в процессе эксплуатации подвергаются абразивному износу. Основными причинами износа являются трение труб о стенку скважины, когда они вращаются во время бурения. Также имеется абразивное изнашивание внутренностей труб промывочной жидкостью, содержащей абразивные частицы [6].

В исследовании [3] показано, что распределение износа неравномерно по трубе. График износа стенки ЛБТ 147x11 мм приведен на рисунке 1.1. Из графика видно, что наибольший износ по наружному диаметру приходится на

середины тела трубы и в зоне работы клиновых захватов. Износ поперечного сечения в середине трубы неравномерно распределен по периметру и носит эксцентричный характер.

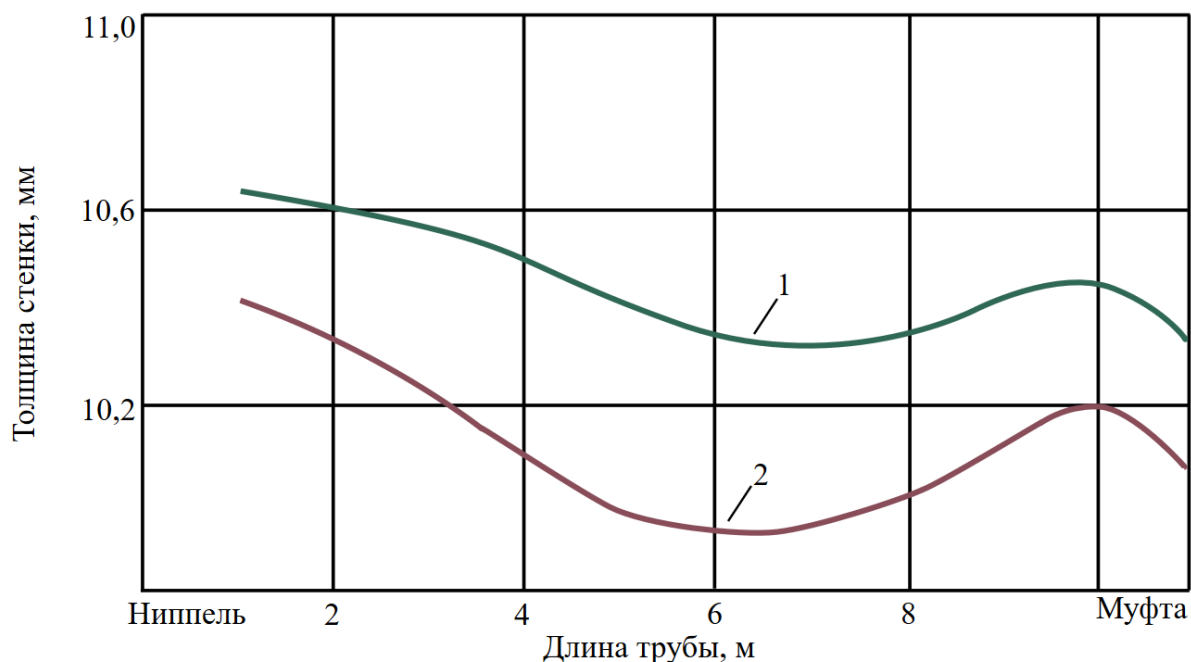


Рисунок 1.1 – График износа стенки ЛБТ 147x11 мм

Где 1 – усредненный по периметру; 2 – в месте максимального износа.

С целью организации рациональной эксплуатации для ЛБТ разработана специальная система их классификации по износу, приведенная в [табл.51, 6].

Согласно данной системе легкосплавные бурильные трубы подразделяют на I, II и III классы, которые определяют эксплуатационные условия труб. Для бурения скважин турбинным и роторным способом, рекомендуется использовать трубы I и II класса. Для бурения неглубоких скважин в неосложненных условиях рекомендуется использовать трубы III класса. В случае, если размер труб оказывается меньше, приведенных в [табл.51, 6] для труб III класса, то они списываются с эксплуатации и сдаются на утилизацию.

Для определения износа следует проводить периодические измерения бурильных труб в местах, подверженных наибольшему износу, т.е. в средней

части и зоне посадки в клиновой захват. Наружный диаметр и толщину стенки при этом следует измерять в шести сечениях по периметру через 60°.

## **1.2 Методы измерения толщины стенок легкосплавных бурильных труб.**

### **1.2.1 Ультразвуковой метод**

Одним из самых распространенных методов толщинометрии является ультразвуковой метод. Для измерения толщины стенок применяют эхо-метод и резонансный метод [8 – 10].

*Резонансный метод.* Упругие волны, непрерывно изменяющейся частоты, возбуждают в объекте контроля при помощи преобразователя. Частоты, на которых имеются резонансы системы «преобразователь – объект контроля» фиксируют. Толщину стенки определяют по данным частотам [8].

Допустим, что объект контроля представляет собой плоскую пластину. Тогда, толщина  $h$  определяется по формуле[9]:

$$h = \frac{n\lambda}{2} = \frac{nc}{2f_n} \quad (1.1)$$

Где  $c$  – скорость звука в объекте контроля;  $f_n$  – частота, на гармонике соответствующая резонансу. Если номер гармоники неизвестен, то применяют формулу для разности гармоник:

$$h = \frac{(n - m)c}{2(f_n - f_m)} \quad (1.2)$$

В работе [10] показано что, при измерении толщины стенок труб высота резонансных пиков сильно уменьшается, также возбуждаются волны Рэлея и Лэмба, мешающие измерениям. Поэтому измерения толщины стенок данным способом возможна только при диаметре труб не менее 10 ... 12 мм.

На рисунке 1.2 представлена схема прибора, который используется в резонансной ультразвуковой толщинометрии.

Пьезопреобразователь возбуждают через резистор достаточно большой величины, такой при которой выполняется условие  $R \gg |Z_{пр}|_{\text{макс}}$ , где  $|Z_{пр}|$  – электрический импеданс преобразователя.

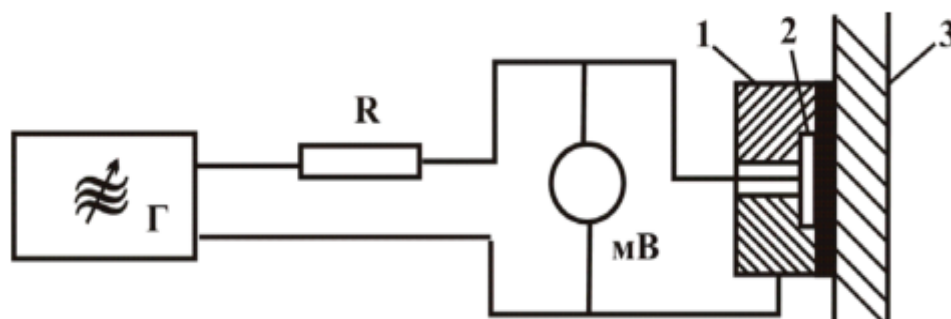


Рисунок 1.2 – Схема резонансной ультразвуковой толщинометрии:  
1- корпус пьезопреобразователя; 2 – пьезоэлемент; 3 – объект контроля

При изменении  $|Z_{пр}|$  электрический ток  $I$ , протекающий через преобразователь, не будет изменяться при смене частоты возбуждения и напряжение  $U_{пр}$  на преобразователе будет пропорционально значению тока.

Импеданс преобразователя, в момент резонанса, становится активным и напряжение на преобразователе уменьшается. В настоящее время в толщиномерах реализовано автоматическое изменение частоты и измерение данной частоты в момент резонанса.

*Эхо-метод.* Данный метод основан на регистрации эхо-сигналов (донных сигналов) от противоположной поверхности объекта контроля (дна) (рисунок 1.3). Время прихода импульсов пропорционально толщине объекта контроля.

По первому донному сигналу определяют толщину объекта контроля по формуле:

$$h = 0,5c(t - t_3) \quad (1.3)$$

Где  $c$  – скорость распространения ультразвука в объекте контроля;  $t$  – измеренное время прохождения ультразвукового импульса от излучателя до



дна и обратно;  $t_3$  – время прохождения ультразвукового импульса в прямом и обратном направлении через акустические задержки.

Принцип работы ультразвукового толщиномера использующий эхо-метод рассмотрим на основе схемы приведенной на рисунке 1.3 [10].

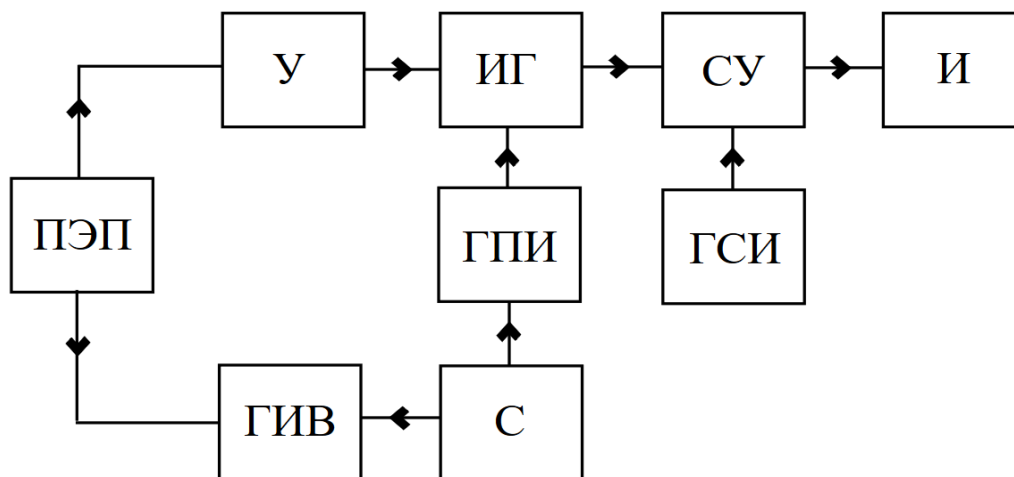


Рисунок 1.3 – Функциональная схема ультразвукового эхо-импульсного толщиномера

Синхронизатор ( $C$ ) периодически вырабатывает импульс, который запускает генератор импульсов возбуждения ( $ГИВ$ ) и генератор пусковых импульсов ( $ГПИ$ ).  $ГИВ$  вырабатывает короткий электрический импульс, возбуждающий передающую часть пьезоэлектрического преобразователя ( $ПЭП$ ). После отражения от противоположной стенки объекта контроля ультразвуковой импульс попадает на приемную часть  $ПЭП$ , преобразуется в электрический сигнал и подается на усилитель ( $У$ ). Принципом измерения толщины ультразвуковым методом является измерение времени между излучением зондирующего импульса и приемом первого отраженного импульса. Для измерения почти никогда не привлекается непосредственно излучаемый импульс. Из-за задержки при прохождении в  $ПЭП$ , из-за своей ширины он вносит существенную погрешность в процесс измерения. Поэтому синхронизатор запускает также генератор пусковых импульсов, который с некоторой задержкой, учитывающей распространение ультразвукового сигнала в части акустического тракта от излучающей пластины до поверхности изделия,

вырабатывает пусковой импульс. Последний, в свою очередь, запускает измерительный генератор (ИГ). Прямоугольный импульс, созданный ИГ останавливается первым эхо-импульсом, прошедшим через усилитель из объекта контроля.

Основной причиной, определяющей погрешность эхо-импульсных толщиномеров, является различие скоростей распространения ультразвука в различных материалах, а также изменение скорости распространения звука от внешних факторов, например, изменение температуры окружающей среды.

При подборе ультразвуковых толщиномеров нужно учитывать, что:

- минимальная толщина изделий должна быть около 0,5 ... 1,5 мм;
- наружная поверхность объекта контроля должна обеспечить возможность надежного акустического контакта с преобразователем;



Рисунок 1.4 - Разрушение кромок призм на рабочей поверхности РС ПЭП после интенсивной работы

- минимальный диаметр трубы 5...10 мм.

Преимуществами ультразвукового метода толщинометрии являются:

- возможность контроля изделий из самых различных материалов;
- Безопасность метода для здоровья оператора и населения;
- минимальные затраты на контроль;
- мобильность и адаптивность.

Недостатками данного метода являются:

- трудность или невозможность контроля изделий из неоднородных, крупозернистых материалов;

- повышенные требования к частоте и шероховатости объекта контроля;
- малая скорость измерений;
- затруднённая автоматизация в полевых условиях;
- малый срок службы преобразователей [11].

### **1.2.2 Электромагнитно-акустический метод**

Электромагнитно-акустический метод измерения толщины основан на таких взаимодействиях электромагнитного поля с контролируемым объектом как магнитострикция, магнитного и электродинамического. [12].

Магнитострикционное взаимодействие проявляется в деформации под действием внешнего магнитного поля элементарных объемов ферромагнитного объекта. Возбуждаемое переменным током обмотки переменное магнитное поле вызывает циклическое перемагничивание доменов ферромагнетика и их деформацию вследствие эффекта магнитострикции. Воздействию переменного магнитного поля подвергаются только домены поверхностного слоя ферромагнитного объекта ввиду резкого убывания индукции этого поля при удалении от обмотки, а также наличия скин-эффекта вследствие возбуждения переменным магнитным полем вихревых токов. Упругие деформации доменов поверхностного слоя обеспечивают возбуждение в объекте акустических волн с частотой тока обмотки. Наличие одновременного намагничивания постоянным магнитным полем обеспечивает усиление магнитострикционного взаимодействия. На рисунке 1.5 представлено возбуждение акустических волн за счет магнитострикционного взаимодействия.

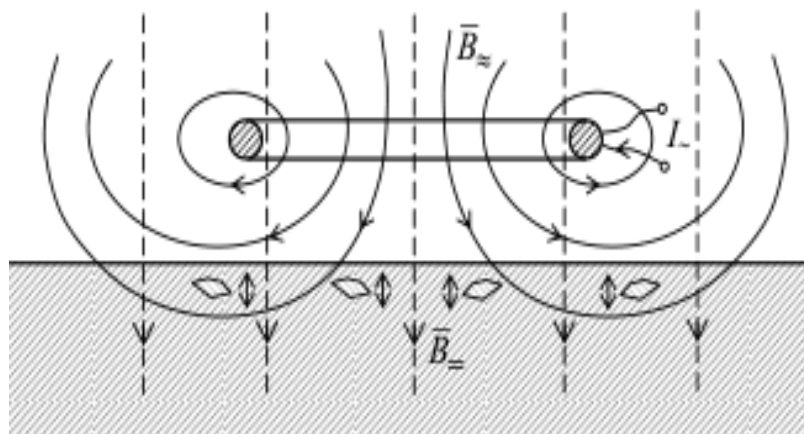


Рисунок 1.5 – Возбуждение акустических волн за счет магнитоупругого взаимодействия

Магнитное взаимодействие состоит в отталкивании и притяжении намагниченного постоянным магнитным полем поверхностного слоя ферромагнетика и создающей переменное магнитное поле обмотки с током.

Под действием постоянного магнитного поля ферромагнитный объект намагничивается в направлении, определяемом направлением намагничивающего поля. Кроме того, поверхностный слой ферромагнетика подвергается воздействию переменного магнитного поля обмотки с током. Поскольку направление переменного магнитного поля циклически изменяет свое направление с частотой тока обмотки, то намагниченный поверхностный слой ферромагнетика будет попеременно притягиваться и отталкиваться от источника переменного магнитного поля – обмотки с током. При совпадении направлений магнитных полей обмотки и намагниченного постоянным магнитным полем ферромагнетика имеет место притяжение, при противоположных направлениях этих полей – отталкивание. Эффект притяжения-отталкивания поверхностного слоя объекта контроля вызывает колебания этого слоя с частотой тока обмотки и возбуждение в объекте акустических волн. На рисунке 1.6 представлено возбуждение акустических волн за счет магнитного взаимодействия.

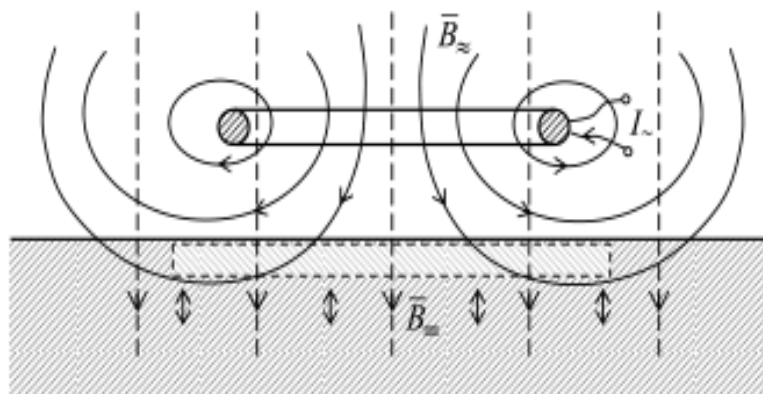


Рисунок 1.6 – Возбуждение акустических волн за счет магнитного взаимодействия

Электродинамическое взаимодействие заключается в наведении в электропроводящий объект вихревых токов и взаимодействии их магнитного поля с постоянным магнитным полем преобразователя.

Переменное магнитное поле обмотки с током, расположенной вблизи поверхности электропроводящего объекта, возбуждает в его поверхностном слое вихревые токи. Магнитное поле вихревых токов изменяет свое направление с частотой тока возбуждения в отличие от постоянного магнитного поля преобразователя, имеющего неизменное направление. Вследствие этого, по аналогии с магнитным взаимодействием, поверхностный слой объекта будет притягиваться-отталкиваться от источника постоянного магнитного поля. Колебания поверхностного слоя возбуждают распространяющиеся в объекте контроля акустические волны.

Индуктивные преобразователи различных форм можно использовать как источник электромагнитных колебаний. На рисунке 1.7 представлено возбуждение акустических волн за счет электродинамического взаимодействия.

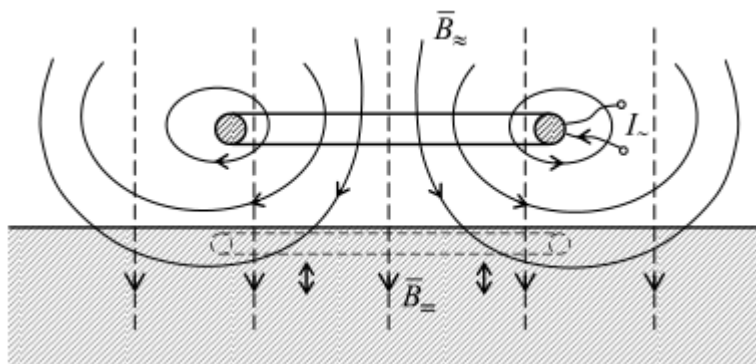


Рисунок 1.7 – Возбуждение акустических волн за счет электродинамического взаимодействия

В работе [14] подробно рассмотрены возможности современных ЭМА толщиномеров.

В работе [15] подробно рассмотрен толщиномер А1270 для контроля проката из алюминиевых сплавов.

Толщиномер А1270 (рисунок 1.8) состоит из электронного блока, в составе которого находятся усилитель, USB-контроллер, блок обработки сигналов, микроконтроллер (МК), клавиатура, амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП), блок питания, и дисплей, а также преобразователь с предварительным усилителем и блоком генератора импульсов возбуждения. После прохождения усилителя и АЦП, проводится корреляционная обработка сигналов и выполняются вычислительные операции, результатом которых является толщина объекта контроля.

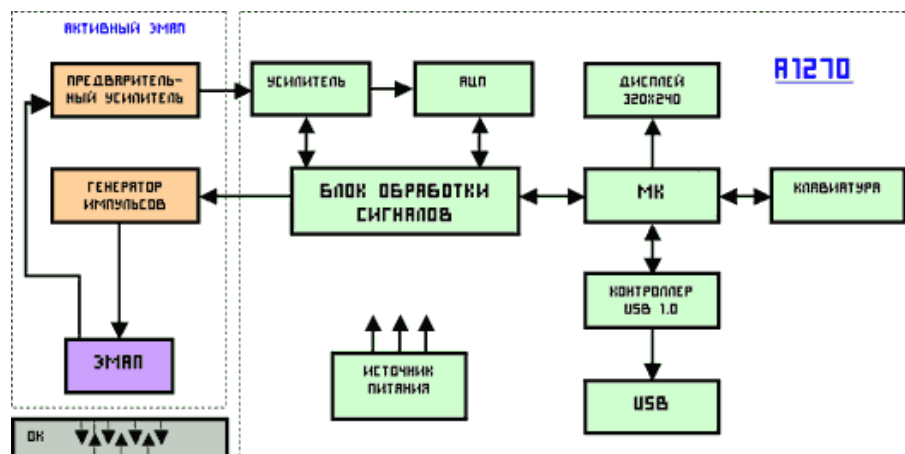


Рисунок 1.8 – Функциональная схема ЭМА толщиномера А1270

ЭМА имеют ряд существенных преимуществ [16,17]:

- не требуется контакт с объектом контроля;
- нет износа преобразователя;
- на результаты контроля не влияет наличие загрязнения на объекте контроля;
- высокая производительность контроля;

Недостатками ЭМА является:

- малый коэффициент преобразования (как прямого, так и обратного) и, как следствие, низкая чувствительность;
- недостаточно высокая стабильность параметров возбуждаемых акустических волн;
- сильная зависимость амплитуды сигнала от зазора.

### **1.2.3 Радиографический метод**

Радиографический метод заключается в возможности рентгеновского излучения проходить через материалы и взаимодействовать с светочувствительной рентгеновской пленкой, в случае пленочной радиографии, или на многоразовых запоминающие пластины, в случае цифровой радиографии [18].

Резкое изменение толщины материала в направлении просвечивания фиксируется на радиографическом снимке в виде значительного изменения плотности почернения. После экспонирования пленки с последующей её фотообработкой на снимке получают увеличенное изображение профиля стенки трубы – хорошо различимую на снимке полосу с изменяющейся оптической плотностью почернения от максимума на границе профиля стенки со стороны наружной поверхности трубы до минимума, который соответствует границе внутренней поверхности трубы [19] (Рисунок 1.9).

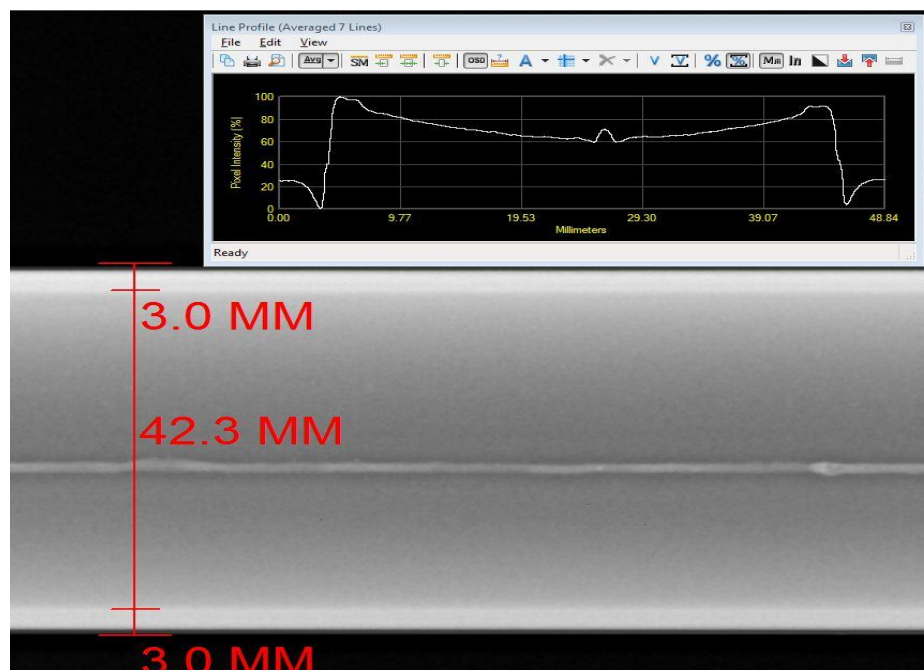


Рисунок 1.9 – Радиографический снимок, открытый в «Xbit Pro», Vidisco

Схема просвечивания профильной толщинометрии (рисунок 1.10) состоит в том, что источник излучения (гамма-дефектоскоп, рентгеновский аппарат) и прямая плоская кассета с пленкой должны располагаться относительно контролируемой трубы таким образом, чтобы центральный луч рабочего пучка излучения был направлен перпендикулярно профилю стенки на контролируемом участке трубопровода (приблизительно по касательной к наружной поверхности трубы).



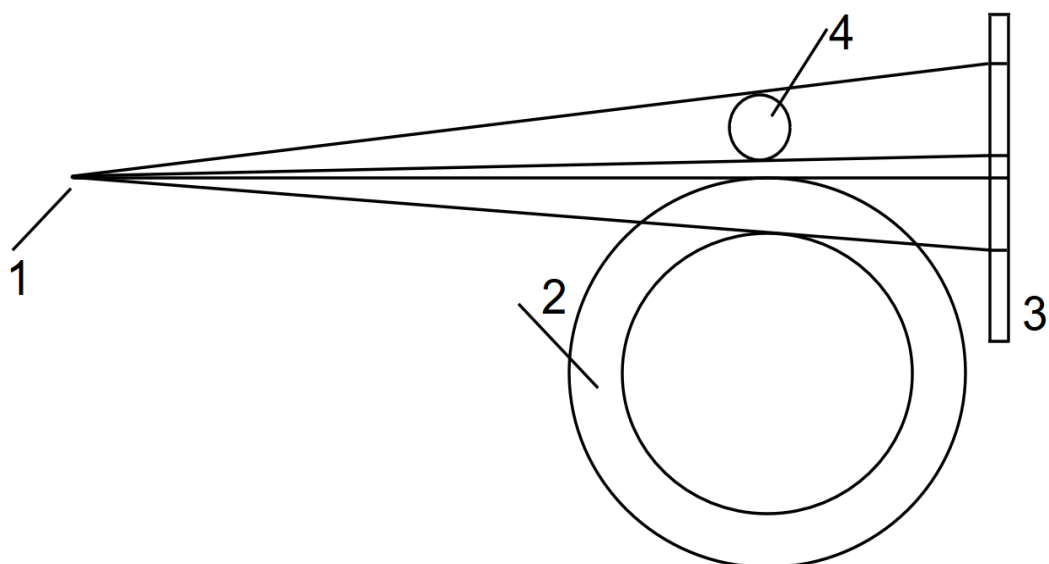


Рисунок 1.10 – Схема просвечивания при профильной радиографической толщинометрии трубы с использованием образца для сравнения, где 1 – источник излучения, 2 – кассета с запоминающей пластиной, 4 – контрольный образец

Для того, чтобы перейти к относительным измерениям, целесообразно применять контрольный образец для сравнения геометрии. Уход от абсолютных измерений позволяет снизить влияние нерезкости на точность измерения.

Образец сравнения представляет собой стальной шарик диаметром примерно в 2-3 раза больше проектной толщины стенки контролируемой трубы. Образец располагают параллельно оси трубы над контролируемым участком стенки. После просвечивания и фотообработки пленки на снимке вместе с увеличенным изображением стенки трубы получается увеличенное изображение диаметра шарика [20].

Реальная толщина стенки трубы определяется по формуле:

$$S = \frac{d_0}{d'_0} S' \quad (1.4)$$

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

В работе [21] описаны методы определения толщины стенок труб, используемые в программах компании Vidisco.

Радиографический метод измерения толщины объекта контроля может быть весьма полезным при следующих обстоятельствах [22]:

- если использование других средств измерения толщин затруднено;
- для измерения радиационной толщины дефектов в объекте контроля;
- если другие методы НК для измерения толщины не эффективны из-за больших расходов;
- когда требуется не очень высокая скорость и точность измерения.

Преимуществами данного метода являются:

- отсутствие непосредственного контакта с поверхностью;
- отсутствие требований к подготовке поверхности.

Недостатками данного метода являются:

- высокие требования к охране труда;
- низкая точность измерений;
- низкая скорость измерений;
- сложности в обработке результатов измерений.

#### **1.2.4 Вихретоковый метод**

При измерении толщины стенок легкосплавных бурильных труб может применяться двухчастотный вихретоковый метод [23]. Первая частота  $f_1$  является основной и предназначена для измерения толщины стенки трубы  $T$ . Она должна находиться в диапазоне до нескольких сотен герц [24]. Вторая частота  $f_2$  подбирается таким образом, чтобы сигналы на данной частоте мало зависели от толщины стенки труб и в то же время менялись при изменении зазора  $h$  между трубой и преобразователем. Такие свойства проявляются на частотах несколько килогерц.

Напряжение измерительно обмотки ОИ состоит из двух частей:

$$U = U_0 + U_{\text{вн}} \quad (1.5)$$

Начальное напряжение  $U_0$ , обусловлено непосредственным действием возбуждающего магнитного поля. Вносимое напряжение  $U_{\text{вн}}$ , обусловлено действием магнитного поля вихревых токов. Оба напряжения являются комплексными.

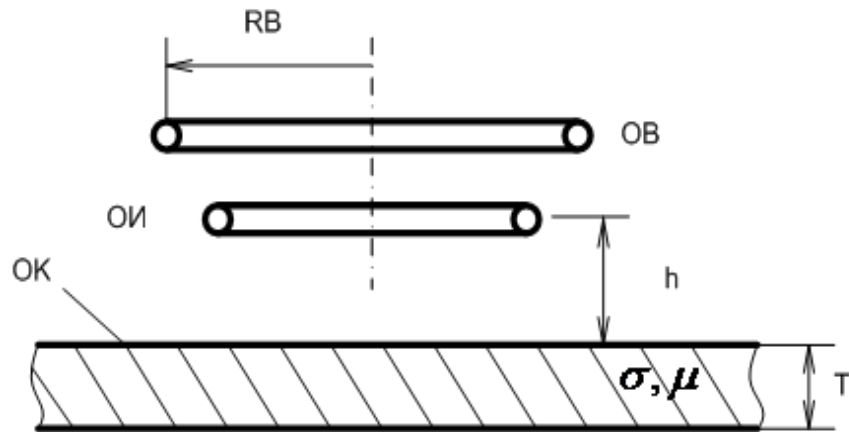


Рисунок 1.11 - Накладной ВТП над изделием

Вносимое напряжение  $U_{\text{вн}}$  зависит от четырех параметров: толщины листа  $T$ , зазора  $h$ , магнитной проницаемости и электропроводности. Зависимость вносимого напряжения  $U_{\text{вн}}$  от режима контроля и от параметров объекта и представляется годографами. На рисунке 1.12 представлены годографы напряжения  $U_{\text{вн}}^* = U_{\text{вн}}/U_0$  от обобщенного параметра

$\beta = R_B \sqrt{\omega \mu_a \sigma}$  и от зазора  $h^* = h/R_B$  для случая контроля неферромагнитного материала с относительной толщиной  $T^* = T/R_B$ .

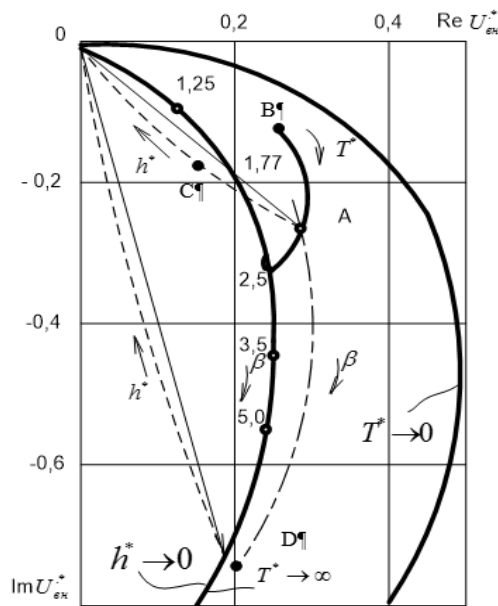


Рисунок 1.12 – Годограф  $U_{вн}^*$  при двухчастотном контроле

С возрастанием величины  $h^*$  конец вектора  $U_{вн}^*$  описывает годограф АС. Убывание модуля  $|U_{вн}^*|$  происходит по экспоненциальному закону:

$$U_{вн}^*(h^*) = U_{вн0}^* e^{-1,5h^*} \quad 1.6)$$

где  $U_{вн0}^*$  - модуль нормированного вносимого напряжения при нулевом нормированном зазоре.

Путь, по которому перемещается вектор нормированного вносимого напряжения при смене значения зазора, не является прямым, то есть при перемене  $h^*$  имеет место изменение величины фазы нормированного вносимого напряжения  $U_{вн}^*$ .

Если электропроводность контролируемого материала меняется в широких пределах, то на вносимое напряжение действуют одновременно два мешающих фактора. Для точного измерения толщины в этом случае необходимо двухчастотное возбуждение ВТП, при этом можно представить, что на комплексной плоскости вносимых напряжений имеется одновременно две рабочих точки А и D, определяемых величиной обобщенного параметра на верхней и нижней частоте. Параметры  $U_{вн}^*$ . На низкой рабочей частоте (точка А) зависят от  $h^*$ ,  $T^*$  и  $\sigma$ . Вторая рабочая частота (точка D) выбирается таким образом,

чтобы глубина проникновения электромагнитного поля в металл была меньше минимальной измеряемой толщины  $T_{min}$ , при этом должно выполняться условие:

$$\omega_2 = \frac{2}{T_{min}^2 \sigma \mu_a} \quad (1.7)$$

Вносимое напряжение на второй рабочей частоте зависит от  $h^*$  и  $\sigma$ .

В работе [24] двухчастотных метод вихретоковой толщинометрии был реализован в виде вихретокового толщиномера, структурная схема которого представлена на рисунке 1.13.

Толщиномер состоит из двухчастотного генератора Г, вихретокового преобразователя ВТП, схемы амплитудно-фазовой обработки сигналов САФОС, платы сбора данных ПСД, персонального компьютера ПК на базе ноутбука и блока питания БП. Двухчастотное выходное напряжение генератора частотой 125 и 2000 Гц поступает на возбуждающую обмотку вихретокового преобразователя ВТП. Начальное напряжение измерительной обмотки ВТП компенсируется, полученные вносимые напряжения  $U_1$  и  $U_2$  поступают на двухканальную схему амплитудно-фазовой обработки, опорный вход низкочастотного канала соединен с опорным резистором, а высокочастотного канала – с компенсирующей обмоткой. В САФОС амплитудно-фазовые детекторы формируют квадратурные составляющие выходных напряжений.

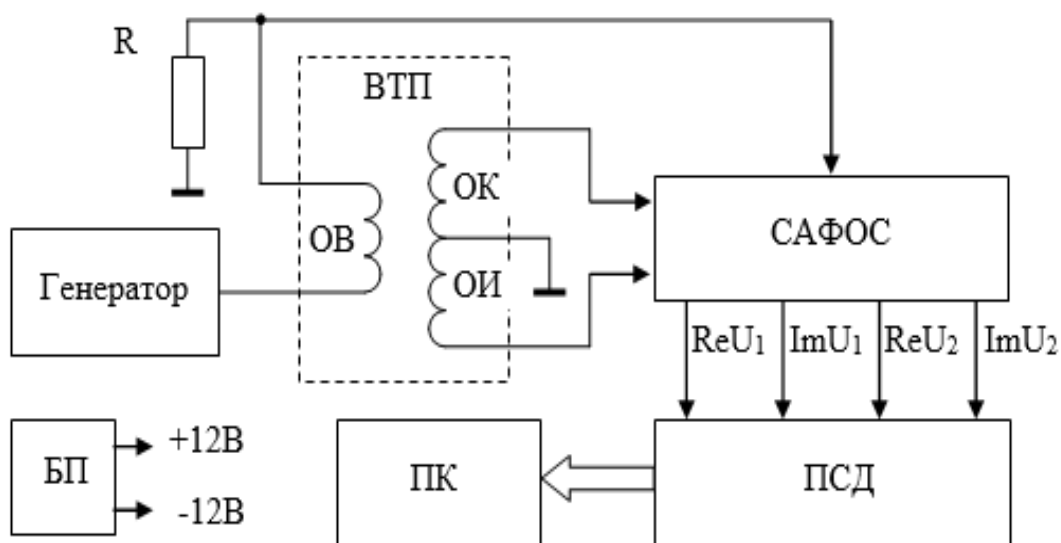


Рисунок 1.13 – Структурная схема вихретокового толщиномера VT – 15.01

Выходные сигналы САФОС поступают на плату сбора данных, в качестве которой используется модуль USB3000 – универсальный скоростной восьмиканальный АЦП. Модуль поддерживает пакет прикладного программного обеспечения LabView. Для подключения модуля USB3000 к компьютеру ПК необходимо соединить разъем USB модуля с любым свободным USB-портом компьютера, при этом на компьютере должна быть установлена операционная система Windows XP/7. На рисунке 1.14 представлен внешний вид вихретокового толщиномера VT-15.01.

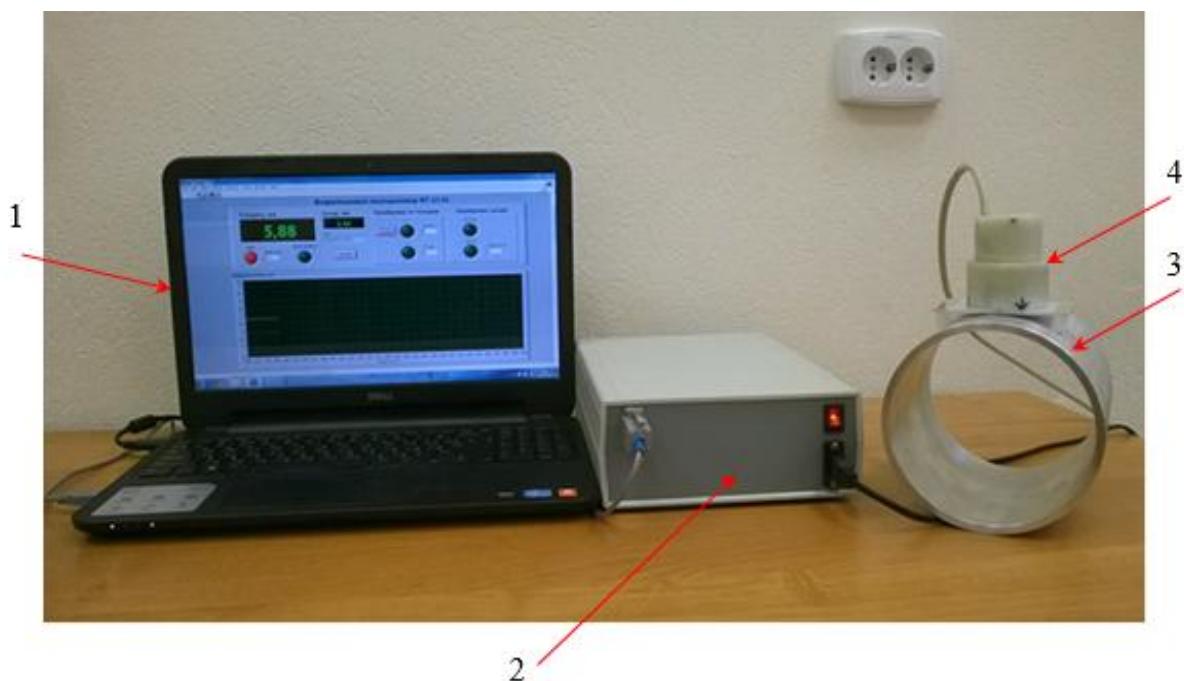


Рисунок 1.14 – Вихретоковый толщиномер VT-15.01.

1 – ноутбук, 2 – блок электроники, 3 – контролируемая труба, 4 – вихретоковый преобразователь

Преимуществами вихретокового метода являются:

- не требуется контакта с поверхностью трубы;
- высокая скорость измерения;
- имеется возможность для автоматизации проведения измерений в полевых условиях;
- не требуется подготовка поверхности;
- устойчивость к механическим и атмосферным воздействиям;
- простота конструкции преобразователя.

Недостатками данного метода являются:

- влияние на результаты контроля смещения ВТП в направлении, перпендикулярном к поверхности контролируемого объекта;
- возможно использовать метод только в электропроводящих материалах;
- влияние краевого эффекта на результаты измерения.

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

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и так далее.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

### **5.1. Предпроектный анализ**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Потенциальными потребителями разработки могут являться как организации, которые производят легкосплавные бурильные трубы, так и организации, которые занимаются технической диагностикой бурильного оборудования. Целевым рынком являются компании, занимающиеся производством и продажей легкосплавных бурильных труб.



### 5.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Таблица 5.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок).

Критерии оценки	Вес критерии	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бф	Бк1	Бк2	Кф	Кк1	Кк2
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
3. Помехоустойчивость	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Энергоэкономичность	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,09
5. Надежность	0,07	5	5	3	0,35	0,35	0,28
6. Уровень шума	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,12
7. Безопасность	0,09	5	3	5	0,45	0,45	0,18
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,1
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
10. Простота эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,25	0,15
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	5	5	0,25	0,15	0,2
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,1	0,25
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,45
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,3
3. Цена	0,02	4	4	5	0,08	0,08	0,04
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
5. Послепродажное обслуживание	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,09
6. Финансирование научной разработки	0,01	5	5	4	0,05	0,05	0,04
7. Срок выхода на рынок	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
8. Наличие сертификации разработки	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
<b>Итого</b>	<b>1</b>				4,87	4,47	3,39

После расчёта средневзвешенного показателя, который составил 4,87, можно судить о конкурентоспособности разработки.

### 5.1.3 Fast-анализ

В качестве объекта FAST- анализа выступает вихретоковый толщиномер для легкосплавных бурильных труб.

Описание главное, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Классификация функций, выполняемых объектом исследования.

Наименование детали	Количество деталей	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Блок питания	2	Предоставление питания			X
Вихретоковый преобразователь	1	Измерение толщины стенки трубы	X		
Блок сбора данных	1	Генерация сигнала и сбор данных		X	
Персональный компьютер	1	Обработка данных измерения		X	
Усилитель мощности	1	Усиление мощности сигнала			X

На первом этапе необходимо построить матрицу смежности функции (табл. 5.3).

Таблица 5.3 – Матрица смежности функций.

	Предоставле- ния питания для блока сбора данных и усилителя мощности	Измерение толщины стенки трубы	Генерация сигнала и сбор данных	Обработка данных измерения	Усиление мощности сигнала
Предоставле- ния питания для блока сбора данных и усилителя мощности	=	<	<	<	<
Измерение толщины	>	=	>	>	>
Генерация сигнала и сбор данных	>	<	=	<	>
Обработка данных изме- рения	>	<	>	=	>
Усиление мощности сигнала	>	<	<	<	>

Далее происходит определение значимости функции путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям (табл. 5.4).

Таблица 5.4 – Значимость функции.

Функция	Балл	Значимость функции
Предоставления питания для блока сбора данных и усилителя мощности	3	0,122
Измерение толщины стенки трубы	7	0,286
Генерация сигнала и сбор данных	5	0,204
Обработка данных изме- рения	6	0,244
Усиление мощности сигнала	3,5	0,144

Информация об объекте исследования обобщена в виде функционально-стоимостной диаграммы, представленной на рисунке 1. Построенная функционально-стоимостная диаграмма позволяет выявить диспропорции между важностью функций и затратами на них.

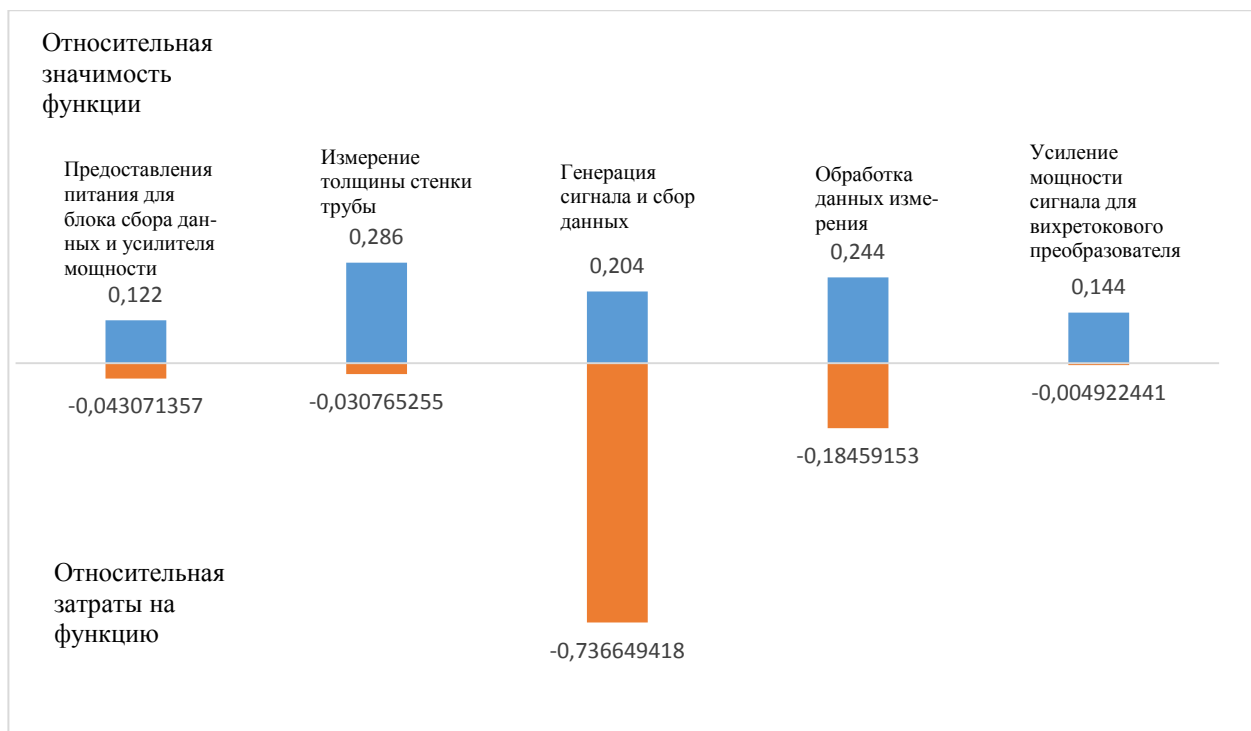


Рисунок 5.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

Из функционально-стоимостной диаграммы (рисунок 1) видно, что есть диспропорция по третьей функции (Генерация сигнала и сбор данных). Требуется провести мероприятия для ликвидации данной диспропорции. Предлагается разработать собственную плату сбора данных. Это позволит существенно снизить стоимость функции «Генерация сигнала и сбор данных». Работу по разработке платы сбора данных в данный момент времени ведёт научный руководитель.

## 5.2. Инициация проекта

Цели и результат проекта: разработка вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб.

Информация о заинтересованных сторонах проекта представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Использование результатов проекта в дальнейших исследованиях
Исполнитель проекта	Повышения уровня квалификации благодаря работе в научной сфере
Организация заказчик	Использование результатов интеллектуальной деятельности для повышения конкурентоспособности организации
Спонсор проекта	Развитие научных исследований и программ. Повышение уровня качества научных исследований в стране.

В таблице 5.6 представлена информация об иерархии целей проекта и требованиях к результату.

Таблица 5.6– Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка вихретокового толщиномера для легкосплавных бурильных труб
Ожидаемые результаты проекта:	Получения готового толщиномера
Требование к результату проекта:	Толщиномер должен обеспечивать приемлемую погрешность измерений.

Таблица 5.7 – Ограничения проекта.

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	100000 рублей
Источник финансирования	ФМПК ИНК ТПУ
Дата утверждения плана управления проекта	01.02.2017
Дата завершения проекта	31.05.2017

### 5.3. Планирование управления научно-техническим проектом

#### 5.3.1 План проекта

Планирование управления научно-техническим проектом заключается в составлении перечня работ, необходимых для достижения поставленной цели, определение сроков их выполнения.

Линейный график представлен в виде таблицы 5.7.

Таблица 5.7 – Календарный план проекта

Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
Постановка целей и задач, получение исходных данных	2	01.02.2017	03.02.2017	И, НР
Составление и утверждение ТЗ	3	03.02.2017	06.02.2017	И, НР
Подбор и изучение материалов по тематике	20	06.02.2017	26.02.2017	И
Анализ технических возможностей	2	26.02.2017	28.02.2017	НР
Выбор структурной схемы устройства	8	28.02.2017	9.03.2017	И
Выбор принципиальной схемы устройства	14	9.03.2017	23.03.2017	И
Разработка макета устройства	9	23.03.2017	1.04.2017	И
Написание программ	10	1.04.2017	11.04.2017	И
Проведение экспериментальных исследований	12	11.04.2017	23.04.2017	И, НР
Анализ полученных результатов	5	23.04.2017	28.04.2017	И, НР
Оформление материала	5	28.04.2017	03.05.2017	И
Подведение итогов	3	03.05.2017	06.05.2017	НР, И

Таблица 5.8 – Календарный план-график

Вид работ	Исполнители	Тк	Продолжительность выполнения работ													
			Февраль			Март			Апрель			Май				
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
Постановка целей и задач, получение исходных данных	И, НР	2	■													
Составление и утверждение ТЗ	И, НР	3	■													
Подбор и изучение материалов по тематике	И	20	■	■	■											
Анализ технических возможностей	НР	2			■											
Выбор структурной схемы устройства	И	8				■										
Выбор принципиальной схемы устройства	И	14					■	■								
Разработка макета устройства	И	9							■							
Написание программ	И	10								■						
Проведение экспериментальных исследований	И, НР	12									■	■				
Анализ полученных результатов	И, НР	5										■	■			
Оформление материала	И	5											■	■		
Подведение итогов	НР, И	3												■	■	

■ - исполнитель ■ -руководитель

### Бюджет научного исследования

Планирование бюджета научного исследования производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов.

### Сырье, материалы, специальное оборудование, покупные изделия

Стоимость всех видов и материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ формируется исходя из приобретения и платы за транспортировку. Транспортно – заготовительные

расходы принимаются в пределах от 3 до 5 % от цены материалов (в данной работе 3%). Стоимость сырья, материалов, специального оборудования, комплектующих изделий приведена в таблице 5.9.

Таблица 5.9 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Принтер	1	2000	2000
Усилитель мощности	1	800	800
Расходные материалы	1	1000	1000
Печатная бумага	1	250	250
Канцелярские товары	1	100	100
Плата сбора данных	1	132000	132000
Источник питания	1	700	700
Персональный компьютер	1	30000	30000
Вихретоковый преобразователь	1	5000	5000
Всего за материалы			171850
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			5155,5
Итого по статье С <sub>м</sub>			177005,5

### Основная заработная плата

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

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

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



$T_{РАБ}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дней.

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{ДН} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D}$$

Где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

Таблица 5.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	32	32
Действительный годовой фонд рабочего времени	216	216

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_6 \cdot k_p,$$

где  $Z_6$  – базовый оклад, руб;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.12.

Таблица 5.11– Расчет основной заработной платы

Исполнители	З <sub>б</sub> , руб.	к <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб.	З <sub>дн</sub> , руб.	Т <sub>р</sub> , раб.дн.	З <sub>осн</sub> , руб.
Научный руководитель	26300	1,3	34190	1646	27	44442
Исполнитель	6450	1,3	8385	403	91	36673

*Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала*

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде. Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$K_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.12 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.12– Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	44442	36673
Дополнительная зарплата	4444,2	3667,3
Зарплата исполнителей	48886,2	40340,3
Итого по статье С <sub>зп</sub>	89226,5	

### *Отчисления на социальные нужды*

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{ВНЕБ}} = k_{\text{ВНЕБ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}),$$

где  $k_{\text{ВНЕБ}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Итого 30% от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР:

$$C_{\text{ВНЕБ}} = 0,3(48886,2 + 40340,3) = 26767,95 \text{ руб}$$

### *Накладные расходы*

В данную статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, содержание, эксплуатацию, ремонт оборудования, производственного инструмента и инвентаря.

Коэффициент накладных расходов составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении проекта.

Накладные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$C_{\text{НАКЛ}} = k_{\text{НАКЛ}} \cdot (Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}}),$$

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

$$C_{\text{НАКЛ}} = 0,8(48886,2 + 40340,3) = 71381,2 \text{ руб}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательской работы (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Калькуляция плановой себестоимости НИР

Наименование статей затрат	Сумма, руб
Сырье, материалы, комплектующие изделия, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	177005,5
Основная заработная плата	81115
Дополнительная заработная плата	8111,5
Отчисления на социальные нужды	26767,95
Накладные расходы	71381,2
Итого себестоимость НИР	364381,15

## Список публикаций студента

1. Устюгов Д. А. Методы измерения толщины стенок труб в нефтегазовой промышленности/ Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения: Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2015», г. Москва, 1-5 декабря 2015 г.: в 5 частях. – М.: Изд-во МИРЭА, 2015 – часть 4 – [С. 97-100]

2. Якимов Е.В., Устюгов Д.А. Отстройка от влияния зазора и электропроводности при измерении толщины стенки электропроводящих труб вихретоковым методом /Информационно-измерительная техника и технологий: материалы VII научно-практической конференции «ИИТиТ-2016», г. Томск, 25-28 мая 2016 г.- Томск: Изд-во ТГУ, 2016 – [С.95 -100]

3. Устюгов Д. А. Вихретоковый толщиномер для измерения толщины стенок легкосплавных бурильных труб / Д. А. Устюгов ; науч. рук. Е. В. Якимов // Неразрушающий контроль : сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции "Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность", Томск, 23-27 мая 2016 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [3 с.].

4. Yakimov E. V., Reducing the Impact of Electroconductivity and the Gap between the Pipe and the Transducer at Measuring Thickness of Electroconductive Pipe Walls using the Eddy-Current Method / E. V. Yakimov, D. Ustyugov // MATEC Web of Conferences. — 2016. — Vol. 79 : Information-Measuring Equipment and Technologies (IME&T 2016) : VII Scientific Conference with International Participation, May 25-28, 2016, Tomsk, Russia : [proceedings]. — [01069, 5 p.].

5. Устюгов Д. А. Особенности проведения технической диагностики резервуаров стальных вертикальных для нефти и нефтепродуктов / Д. А. Устюгов; науч. рук. Е. В. Якимов // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых, г. Томск. 3-8 октября 2016 г. : в 3 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 214-217].

6. E. Yakimov. Thickness measuring of electroconductive pipe walls using the dual-frequency eddy-current method / E. Yakimov, O. Galtseva, D. Ustyugov.// 13th European Workshop on Advanced Control and Diagnosis (ACD 2016)17–18 November 2016, Lille, France- doi:10.1088/1742-6596/783/1/012061