

**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 Физических методов и приборов контроля качества

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Бесконтактный измеритель отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб</b>

УДК 531.717.86:622.24.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Жевтун Елена Сергеевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гольдштейн А.Е.	д.т.н., профессор		

**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.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	<b>Способность</b> совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;	Требования ФГОС (ОК-1) Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	<b>Способность</b> адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ПК-19) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	<b>Способность</b> использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-12,13,16-18,12,22) Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<b>Способность</b> к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОК-2, ПК-10,19) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	<b>Умение</b> использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении..	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5-7), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	<b>Умение</b> профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-5,6,8,20), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	<b>Способность</b> проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-5,10,13,22), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<b>Умение</b> разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики,	Требования ФГОС (ОК-1,ПК-7,14,15) ПК-2,26,27,28)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.	Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	<b>Умение</b> организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологические задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.	Требования ФГОС (ОК-2, ПК-2,6,14,20) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	<b>Способность</b> проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.	Требования ФГОС (ОК-1,2, ОПК-2, ПК-1,2,6,13) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<b>Способность</b> формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности	Требования ФГОС (ОПК-1,3, ПК-3,4,9,11) Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</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 (специальность) Приборостроение  
 Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

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

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ5Б	Жевтун Елене Сергеевне

Тема работы:

Бесконтактный измеритель отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб

Утверждена приказом директора (дата, номер)

15.12.2015 №9728/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

**Объектом исследования является бесконтактный измеритель отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб.**

**Требования к измерителю: диапазон измерения параллельного отклонения от соосности от 0 до 2 мм; диапазон измерения углового отклонения от соосности от 0 до 10 мм/м; пределы допускаемой погрешности измерения параллельного отклонения от соосности  $\pm 0,1$  мм; пределы допускаемой погрешности измерения углового отклонения от соосности  $\pm 0,5$  мм/м.**

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Выбор метода контроля соосности;</li> <li>2. Выбор бесконтактного датчика;</li> <li>3. Определение функции преобразования;</li> <li>4. Разработка программы в LabView.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><b>Принципиальная схема</b></p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</b></p>	<p><b>Николаенко Валентин Сергеевич</b></p>
<p><b>«Социальная ответственность»</b></p>	<p><b>Анищенко Юлия Владимировна</b></p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Профессор кафедры ФМПК</p>	<p>Гольдштейн Александр Ефремович</p>	<p>д.т.н., профессор</p>		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>1БМ5Б</p>	<p>Жевтун Елена Сергеевна</p>		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «ФИНИНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ5Б	Жевтун Елене Сергеевне

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих;	Информационные, материальные и человеческие ресурсы:  Финансовые ресурсы 52500 руб.; Человеческие ресурсы 2 чел.; Работа с информацией.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов;	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования;	

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

1. Определение трудоемкости работ; 2. Определение конкурентоспособности бесконтактного измерителя отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб;	1. Разработка графика проведения исследования; 2. Построение оценочной карты конкурентоспособности;
---	--

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

Диаграмма Ганта;
------------------

**Дата выдачи задания по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Жевтун Елена Сергеевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ5Б	Жевтун Елене Сергеевне

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Бесконтактный измеритель отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб
--	--

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)</li> </ul>	<p>1. Анализ выявленных вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электромагнитное излучение;</li> <li>- Отклонение показателей микроклимата</li> <li>- Отклонение показателей освещенности</li> </ul> <p>2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электрический ток.</li> </ul>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul> <p>разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</p>	<p>Анализ воздействия на литосферу при утилизации измерителя</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по</li> </ul>	<p>Возможность возникновения пожара. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.</p>

предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Организация рабочего места по СанПин2.2.2/2.4.1340-03

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ5Б	Жевтун Елена Сергеевна		



## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 с., 54 рис., 15 табл., 18 источников, 3 прил.

Ключевые слова: бурильная труба, метод биений, отклонение от соосности, бесконтактное измерение.

Объектом исследования является бесконтактный измеритель отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб.

Цель работы – разработка бесконтактного измерителя отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб.

В процессе исследования проводились: теоретический обзор и анализ методов измерения отклонений от соосности, определение функции преобразования и диапазона измерения датчика, разработка программы в LabView.

В результате исследования определен метод измерения отклонений от соосности (метод биений), выбраны вихретоковые датчики, определена функция преобразования и диапазон измерения датчика (от 1 до 4 мм), разработана программа вычислительного преобразования в LabView.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: диапазон измерения параллельного отклонения от соосности от 0 до 2 мм; диапазон измерения углового отклонения от соосности от 0 до 10 мм/м; пределы допускаемой погрешности измерения параллельного отклонения от соосности  $\pm 0,1$  мм; пределы допускаемой погрешности измерения углового отклонения от соосности  $\pm 0,5$  мм/м.

Область применения: промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы стадия разработки.

В будущем планируется разработка конструкции, сборка и испытания на заводе изготовителе бурильных труб.

## Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**соосность:** Расположение осей объектов на одной линии.

**вихревые токи:** Это замкнутые электрические токи, возникающие в проводниках при изменении пронизывающего их магнитного поля.

## **Нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Опасные и вредные производственные факторы.

ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к  
воздуху рабочей зоны.

ГОСТ 12.1.019-2009 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и  
номенклатура видов защиты.

ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ Электробезопасность. Предельно допустимые  
уровни напряжений прикосновения и токов.

ГОСТ Р 51245-99 Трубы бурильные универсальные

## Оглавление

Введение	14
1. Бурильные трубы	16
1.1 Трубы бурильные легкосплавные	17
1.2 Трубы бурильные утяжеленные	19
1.3 Трубы бурильные стальные универсальные с приваренными замками	20
2. Обзор методов измерений отклонений от соосности	22
2.1 Оптический метод	23
2.1.1 Визуально-измерительный метод	23
2.1.2 Оптико-электронный метод	25
2.2 Метод биений	25
3. Выбор датчика для бесконтактного измерения зазора	29
4. Экспериментальные исследования вихретокового датчика	34
4.1 Исследование зависимости амплитуды выходного сигнала от зазора	34
4.2 Определение функции преобразования и диапазона измерения	39
5. Структурная схема	43
6. Программное обеспечение	45
6.1 Алгоритм программы вычислительного преобразования измерителя	45
6.2 Программная реализация алгоритма в LabView	46
7. Метрологические характеристики	57
7.1 Расчет погрешности	57
7.2 Метрологическое обеспечение	58
7.2.1 Первичная настройка	58
7.2.2 Калибровка	60
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и	63

ресурсосбережение	
8.1 Структура работ в рамках научного исследования	63
8.2 Определение трудоемкости выполнения работ	65
8.3 Разработка графика проведения исследования	66
8.4 Расчет материальных затрат	66
8.5 Анализ конкурентоспособности разработки	67
8.6 Заключение по разделу “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”	69
9. Социальная ответственность	70
9.1 Производственная безопасность	70
9.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования	71
9.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований	74
9.1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов	76
9.2 Экологическая безопасность	77
9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	78
9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	79
Заключение	81
Список публикаций	82
Список используемых источников	84
Приложение А Method and sensors for measuring deviations from coaxiality	87
Приложение Б Диаграмма Ганта	99
Приложение В Схема подключения датчиков к USB модулю	100

## **Введение**

В настоящее время большое внимание уделяется обеспечению эффективности и безопасности работ, а также качеству оборудования на производстве.

Контроль качества продукции является важной составляющей производственного процесса, который направлен на проверку надежности и выявление дефектов, а также брака, в готовой продукции. Контроль качества продукции определяется на всех стадиях производства. Поэтому контролю подвергается не только готовая продукция, но, и материалы с сырьем, необходимые для ее изготовления. Что позволяет определить и устранить причину возникновения брака. Вследствие чего возникает необходимость производить контроль качества изделий различными средствами измерениями и методами, на производстве.

Надежность буровых работ определяется отсутствием дефектных элементов в колонне, а также правильностью эксплуатацией бурильного оборудования. У бурильных колонн дефекты появляются в процессе эксплуатации оборудования, либо во время производства труб.

Качественное бурильное оборудование увеличивает эффективность, надежность и снижение стоимости буровых работ. Одним из главных элементов оборудования является бурильная труба. Из-за ее поломки происходит основная доля аварий на производстве.

Бурильные замки обеспечивают стыкование бурильных труб. Они могут быть ниппелями либо муфтами, которые привариваются к трубе (сварка трением). Одним из важных параметров бурильной трубы, является соосность тела трубы и замковых частей. Поэтому необходимо проводить контроль соосности на стадии изготовления трубы. Вовремя проведенный контроль уменьшает экономические и временные затраты.

Целью данной работы является разработка бесконтактного измерителя отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб.

Объектом контроля являются бурильные трубы с приваренными замками.

Для разработки данного измерителя необходимо решить ряд задач:

- выбор метода контроля соосности;
- выбор бесконтактного датчика;
- определение функции преобразования;
- разработка программы в LabView.

## 1. Бурильные трубы

Одним из главных элементов бурового оборудования, является бурильная труба. Бурильные трубы применяются для спуска в буровую скважину и подъема породоразрушающего инструмента, передачи вращения, создания осевой нагрузки на инструмент, подвода промывочной жидкости или сжатого воздуха к забою [1]. На рисунке 1 представлена бурильная труба.

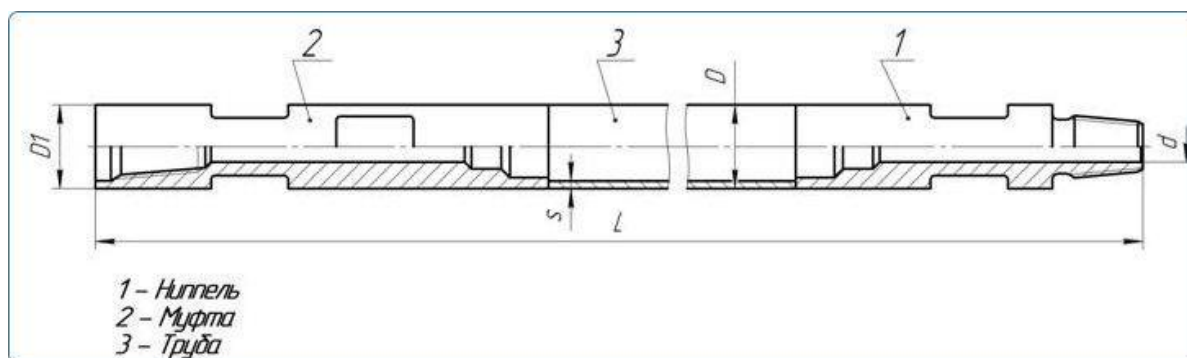


Рисунок 1 – Бурильная труба (1 – ниппель, 2 – муфта, 3 – труба)

Бурильная труба состоит из тела трубы и бурильных замков. Замки состоят из ниппеля, с наружной замковой резьбой, и муфты, с внутренней резьбой. Замки служат для стыкования бурильных труб и представляют собой массивный соединительный элемент с упорными уплотняющими уступами и крупной конической резьбой.

К одному концу тела трубы присоединяется ниппель, к другому муфта и с помощью сварки трением они закрепляются. Таким образом, трубы соединяются в бурильные колонны. Сварка трением заключается в образовании тепла при трении металлических деталей. Одна из частей свариваемого изделия вращается, тем самым металл становится пластичным. Далее торцы сдвигаются под давлением, в результате чего получается сварное соединение.

Различают несколько видов бурильных труб:

- легкосплавные;
- утяжеленные;
- стальные универсальные с приваренными замками.



## 1.1. Трубы бурильные легкосплавные

Данный тип бурильных труб изготавливают в облегченном весовом исполнении, тем самым снижают нагрузку на буровое оборудование. Легкосплавные бурильные трубы (рисунок 2) изготавливают из сплава алюминия, поэтому они имеют меньший вес в воздухе, чем стальные трубы и данная разница увеличивается в среде бурового раствора. Поэтому с увеличением глубины бурения применяют легкосплавные трубы.

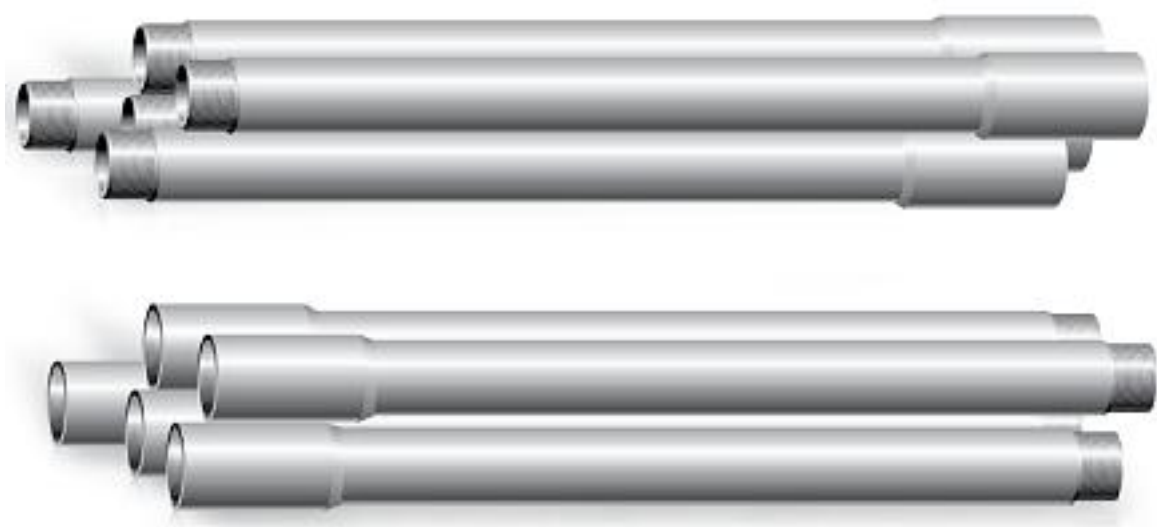


Рисунок 2 – Легкосплавные бурильные трубы

Важные характеристики легкосплавных бурильных труб:

- малая сила притяжения труб к стенкам наклонной скважины за счет низкой плотности материала труб;
- сила притяжения труб меньше, чем у стальных труб за счет меньшего модуля упругости сплава (легче деформируется);
- возможность изготовления любой конфигурации внутренней и наружной поверхности труб, за счет прямого гидравлического метода прессования при изготовлении труб;
- наличие более гладкой наружной и внутренней поверхности, что обеспечивает меньшее гидросопротивление течению бурового раствора;

- возможность измерения магнитометрическим инклинометром через бурильную колонну, за счет немагнитных свойств материала труб;
- легкое разбуривание буровым долотом;

Данные бурильные трубы также имеют ряд недостатков, такие как:

- интенсивный износ тела трубы;
- ограничение состава бурового раствора, за счет плохой стойкости к химическим воздействиям;
- малая термостойкость (при 150°С пластичность и текучесть сплава падают).

В настоящее время легкосплавные бурильные трубы иногда применяют в комбинированных бурильных колоннах. Устанавливая данный тип трубы только в средней части колонны. Тем самым увеличивается предельная глубина бурения, за счет уменьшения общего веса колонны. Легкосплавные бурильные трубы применяются при капитальном ремонте скважин, в разведочном и структурно-поисковом бурении, а также при бурении скважин с горизонтальным окончанием.

Легкосплавные бурильные трубы бывают двух типов:

- прочные;
- повышенной прочности.

Трубы, у которых прессованные гладкие заготовки- это прочные легкосплавные трубы. А заготовки труб с утолщением концов внутрь- это легкосплавные трубы повышенной прочности. Согласно ГОСТ Р 51510-99 легкосплавные бурильные трубы различаются по наружному диаметру и толщине стенки трубы, а также по наружному и внутреннему диаметру замка.

## 1.2. Трубы бурильные утяжеленные

Данный тип труб представляют собой толстостенные стальные трубы, которые предназначены для повышения жесткости и веса низа бурильной колонны для создания необходимой осевой нагрузки на долото в процессе бурения [5].



Рисунок 3 – Утяжеленные бурильные трубы

Утяжеленные бурильные трубы бывают двух типов:

- гладкие по всей длине;
- с конусной проточкой (улучшенный захват клиньями во время подъема и спуска бурильной колонны) [6].

Согласно ГОСТ Р 51510-99 утяжеленные бурильные трубы различаются по наружному диаметру и толщине стенки трубы, а также по наружному и внутреннему диаметру замка.

### 1.3. Трубы бурильные стальные универсальные с приваренными замками

Данный тип бурильных труб предназначен при инженерно-геологических изысканиях и строительстве, колонковым и бескерновым способом, твердосплавными и алмазными коронками и долотами всех видов, а также с применением забойных гидро- и пневмоударников. Также бурильные стальные универсальные трубы применяют для бурения скважин при разведке и поисках твердых полезных ископаемых и воды [7]. На данный тип бурильных труб распространяется ГОСТ Р 51245-99



Рисунок 4 – Трубы бурильные стальные универсальные

Трубы бурильные стальные универсальные имеют наибольший спрос на рынке по сравнению с другими типами труб, за счет простоты и надежности эксплуатации, а также относительно невысокой стоимости.

Рассматриваемый тип труб имеет несколько модификаций в зависимости от диаметра и толщины стенок трубы, видам обработки, типам приваренных замков. Бурильные стальные универсальные трубы с приваренными замками должны соответствовать техническим характеристикам указанных в ГОСТ Р 51245-99. Также в ГОСТ Р 51245-99 приведены номинальные размеры приварных замков.

Общие технические требования к трубам с приваренными замками согласно ГОСТ Р 51245-99:

- отклонение от соосности тела трубы и приварных замков должно быть меньше 0,3 мм у сварного шва и меньше 0,1 мм на 100 мм длины тела трубы приваренного у его торца;
- кривизна трубы должна быть меньше 1 мм на 1 м длины на любом участке. Общая кривизна (измеренная в середине трубы) должна быть меньше 1/2000 длины трубы;
- рекомендованный материал для изготовления труб- сталь 36Г2С, либо сталь 45;
- механические свойства тела трубы материала- сталь 36Г2С [8].

Приварные замки рекомендуется изготавливать из стали 40ХН. Механические свойства данной стали после объемной термообработки должны быть больше следующих значений:

- временное сопротивление, Н/мм<sup>2</sup> (кгс/мм<sup>2</sup>) - 882 (90);
- предел текучести, Н/мм<sup>2</sup> (кгс/мм<sup>2</sup>) - 686 (70);
- относительное удлинение, % - 15;
- относительное сужение, % - 50;
- ударная вязкость при 20° С на образцах КСЧ, Нм/см<sup>2</sup> (кгс\*м/см<sup>2</sup>) – 118;
- твердость материала, HRC – 26 [8].

Приварные замки необходимо подвергнуть химико-термическому упрочнению, чтобы обеспечить среднюю наработку на отказ, которая составляет более 6400 ч. Также поверхность замков дополнительно упрочняют с помощью износостойкого материала.

## 2. Обзор методов измерений отклонений от соосности

Одним из важных параметров бурильной трубы, является соосность тела трубы и замковых частей. Так как во многом от соосности зависит точность бурения, трудоемкость и срок службы бурового оборудования. Соосность подразумевает совпадение осей замка и тела трубы, расположенных на одной линии.

При бурении на высоких скоростях отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб может привести к обрыву, что негативно сказывается при буровых работах. Поэтому необходимо проводить контроль соосности на стадии изготовления трубы. Вовремя проведенный контроль уменьшает экономические и временные затраты.

Существует два вида отклонения от соосности: параллельное ( $a_1$ , мм) и угловое ( $a_2$ , мм/м). На рисунке 5 и 6 представлены параллельное и угловое отклонения от соосности.

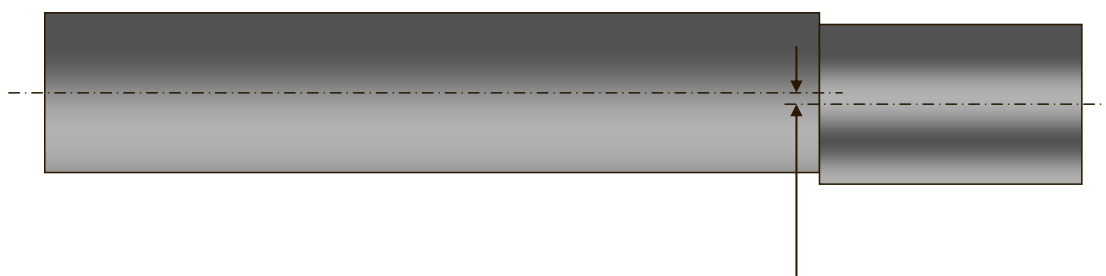


Рисунок 5 – Параллельное отклонение от соосности  $a_1$



Рисунок 6 – Угловое отклонение от соосности  $a_2$

Данные отклонения от соосности не должны превышать значения указанные в ГОСТ Р 51245-99 (у сварного шва – меньше 0,3 мм, и меньше 0,1 мм на 100 мм длины детали приваренного замка у ее торца) [8].

Измерение отклонений от соосности проводят двумя методами:

- оптический метод;
  - визуально-измерительный метод;
  - оптико-электронный метод;
- метод биений.

## **2.1. Оптический метод**

Оптический метод контроля соосности широко распространен за счет визуально-измерительного метода, так как используются простейшие измерительные средства.

### **2.1.1. Визуально-измерительный метод**

Данный метод заключается в визуальной оценке отклонений с помощью поверочной линейки или натянутой струны и щупов.

При измерении параллельного отклонения от соосности, необходимо уложить бурильную трубу на плоскую поверхность. Труба должна лежать без воздействия внешних сил. Далее необходимо натянуть вдоль объекта контроля струну (проволоку). С помощью измерительной линейки (микрометра) производятся измерения уровня объекта контроля и уровня натянутой струны как показано на рисунке 7. По расхождению полученных значений, можно судить об отклонении от соосности объекта контроля.

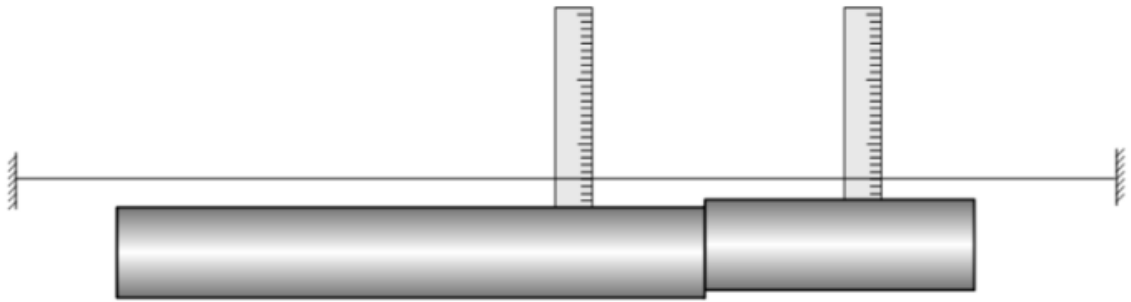


Рисунок 7 – Измерение параллельного отклонения от соосности

Визуально-измерительный метод применяемый для контроля параллельного отклонения от соосности является простым и удобным. Но существуют ряд недостатков:

- низкая точность измерения (человеческий фактор);
- низкая производительность контроля.

В данном методе угловое измерение отклонения от соосности проводят с помощью оптического универсального угломера. Контроль данным методом является контактным. Для контроля углового отклонения необходимо установить угломер на угол, дополняющий измеряемый внутренний угол до  $360^\circ$ . По основной шкале  $0 - 360^\circ$  производится отсчет показаний.

С помощью данного угломера возможно проводить измерение всевозможных контуров, углов, уступов и выемок.

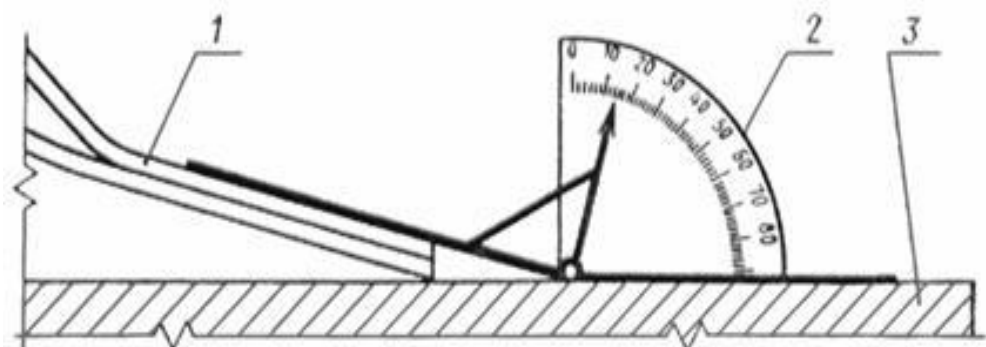


Рисунок 8 – Измерение углового отклонения угломером (1 – замок бурильной трубы, 2 – угломер, 3 – тело бурильной трубы)



### 2.1.2. Оптико-электронный метод

Для измерения отклонений от соосности данным методом используется лазерная система (рисунок 9).



Рисунок 9 – Лазерная система измерения отклонений от соосности

Система включает в себя: полупроводниковый лазер, координатный фотоприемник и рефлекторную оптическую призму. Лазерный луч преломляется в призме и поступает в детектор-фотоприемник. Небольшие размерами блоки монтируются на объекте контроля. С помощью призмы изменяется направление луча, благодаря чему возможно измерение параллельности смещения в одной плоскости и углового смещения в другой; таким образом можно одновременно контролировать каждый показатель смещения соосности. Преимущество данного метода контроля, высокая точность при минимальных затратах средств и времени. К недостаткам метода относится чувствительность к вибрации (чувствительность к поверхности, на которую устанавливается лазерная система).

### 2.2. Метод биений

Метод биений предлагается проводить по ГОСТ Р 51245-99. Контроль соосности методом биений основан на применении индикаторов часового типа.

Индикаторы часового типа преобразуют отклонения малых размеров объекта контроля от заданного номинального размера в перемещение стрелки по шкале. При данном методе измерения в большинстве случаев применяют метод сравнения с эталонной мерой.

Контроль соосности заключается в измерении при вращении трубы (360°) двумя индикаторами часового типа радиальных биений приваренной части объекта контроля относительно оси объекта контроля в двух сечениях (первое из которых расположено вблизи сварного соединения, а второе вблизи торца приваренной части объекта контроля). Полученные значения отклонения от соосности сравнивают с их предельно допустимыми значениями.

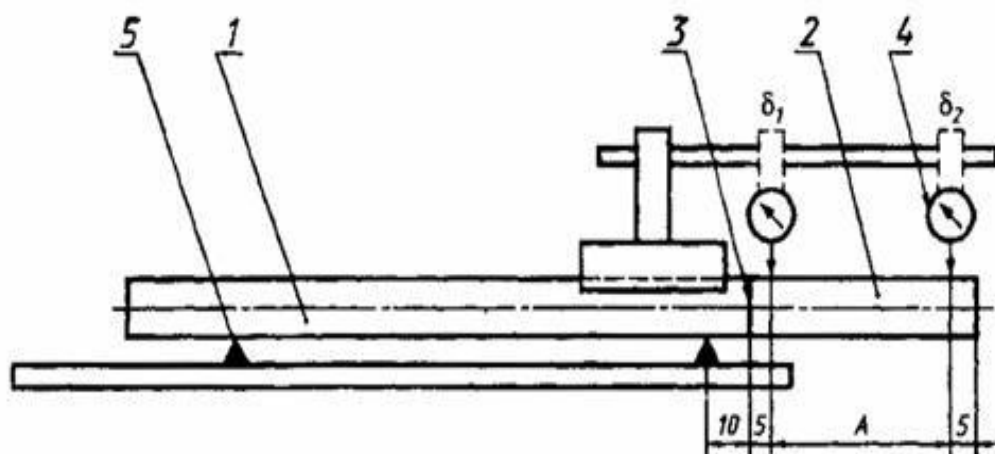


Рисунок 10 – Контроль соосности методом биений (1 – объект контроля; 2 – приваренная часть; 3 – сварное соединение; 4 – индикатор часового типа; 5 – ножевая опора;  $\delta_1$  и  $\delta_2$  – сечения измерения биения; А – расстояние между осями)

Параллельное отклонение от соосности  $a_1$  определяется по формуле:

$$a_1 = \frac{\delta_1}{2}, \quad (1)$$

где  $\delta_1$  – биение в сечение 1, мм.

Угловое отклонение от соосности  $a_2$  определяется по формуле:

$$a_2 = \frac{(\delta_2 - \delta_1) \cdot 100}{2 \cdot A}, \quad (2)$$

где  $\delta_1$  – биение в сечение 1, мм;

$\delta_2$  – биение в сечение 2, мм;

А- расстояние между сечениями, мм.

Данный метод имеет низкую производительность контроля и высокую вероятность субъективной ошибки оператора.

В Томском политехническом университете была разработана система, реализующая данный метод контроля.

Система контроля соосности сварного соединения бурильных труб СКС 10.02 представлена на рисунке 11.

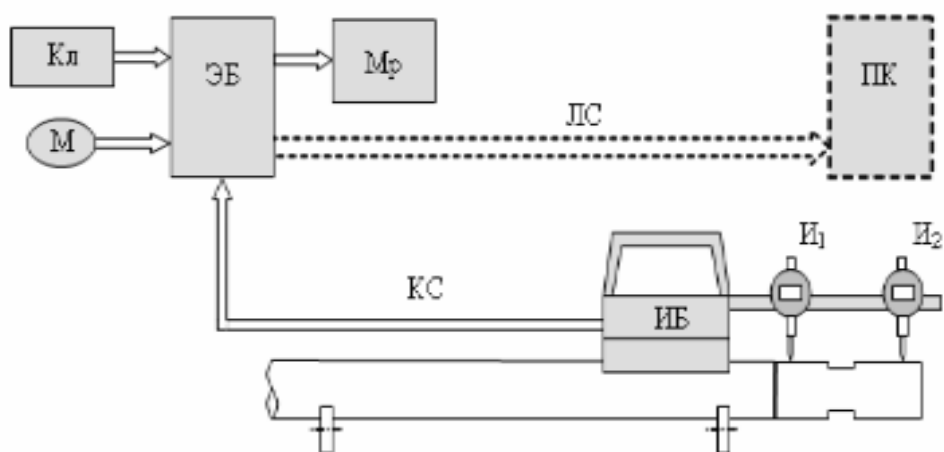


Рисунок 11 – Структурная схема системы контроля соосности (ИБ – измерительный блок; И<sub>1</sub>, И<sub>2</sub> – индикаторы часового типа; ЭБ – электронный блок; Кл – клавиатура; М – мышь; Мр – монитор; КС – кабель связи; ЛС – локальная сеть; ПК – персональный компьютер)

Данная система обеспечивает автоматическую обработку информации. Система СКС 10.02 уменьшает трудоемкость контроля и повышает его надежность.

Измерение запускается автоматически при установке измерительного блока на объект контроля. При измерении осуществляется вращение трубы на вращающихся опорах, при этом измерительный блок остается не подвижным. С помощью двух индикаторов И<sub>1</sub>, И<sub>2</sub> подается сигнал на контроллер измерительного блока. Сигнал преобразуется в необходимую форму для передачи по кабелю в электронный блок. В электронном блоке происходит программная обработка полученных результатов об отклонении от соосности.

Недостатком системы СКС 10.02 является наличие контактных измерений. Для повышения удобства и надежности проведения контроля соосности методом биений целесообразно использовать бесконтактные датчики.

### 3. Выбор датчика для бесконтактного измерения зазора

Для решения поставленной задачи необходимо определиться с выбором бесконтактного датчика. Для измерения зазора возможно применение таких датчиков, как:

- оптические (триангуляционные);
- магнитные (индуктивные);
- вихретоковые.

Триангуляционные датчики основаны на принципе оптической триангуляции. В триангуляционном методе измерения расстояний, в основном используется лазер. Так как лазерный луч имеет способность распространяться на большие расстояния.

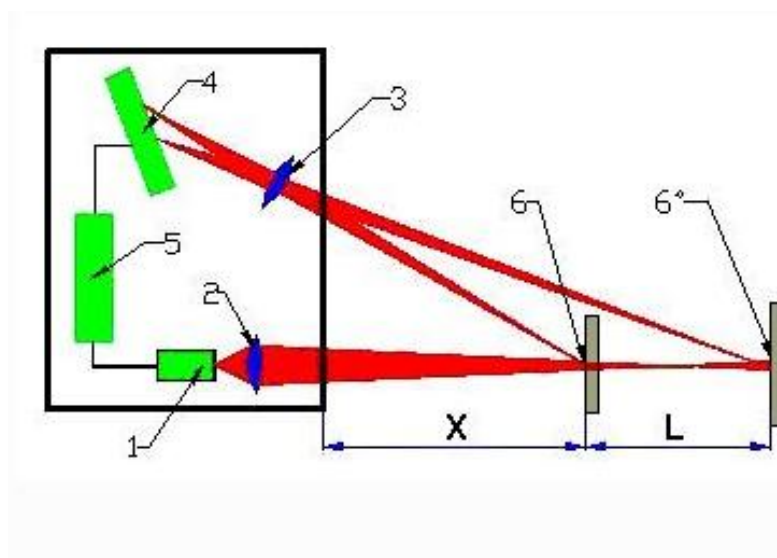


Рисунок 12 – Метод триангуляции (1 – полупроводниковый лазер; 2 – объектив; 3 – объектив; 4 – CCD- линейка; 5 – процессор сигналов; 6 – объект; 6° – объект)

Метод оптической триангуляции заключается в расчете искомого расстояния, с использованием известных параметров системы, через соотношения треугольника. На объекте 6 (рисунок 12), излучение лазера 1 фокусируется объективом 2. От объекта 6 отраженное излучение собирается объективом 3 на CCD- линейке 4. При смещении объекта 6 на расстояние L,

также смещается пятно на CCD- линейке 4. Процессор 5 по полученным расположениям световых пятен, на CCD- линейке 4, рассчитывает расстояние до объекта.

Триангуляционные датчики имеют большую гибкость и возможность модернизации под большое количество измерений. Также полученные данные имеют большую точность измерения. Данный вид датчиков применяется в промышленных системах контроля геометрических параметров, а также параметров рассчитываемых на их основе. Но триангуляционные датчики дорогостоящие.

На рисунке 13 представлен триангуляционный датчик SICK DS40 расстояния. Диапазон измерения составляет: 0,2 – 5 м. Цена датчика приблизительно составляет 40000 рублей [9].



Рисунок 13 – Триангуляционный датчик SICK DS40

Принцип действия индуктивных датчиков основан на изменении параметров магнитного поля, создаваемого катушкой индуктивности. Магнитный поток катушки проходит через магнитопровод и воздушный зазор, далее замыкает якорь. Индуктивность изменяется относительно изменения зазора.

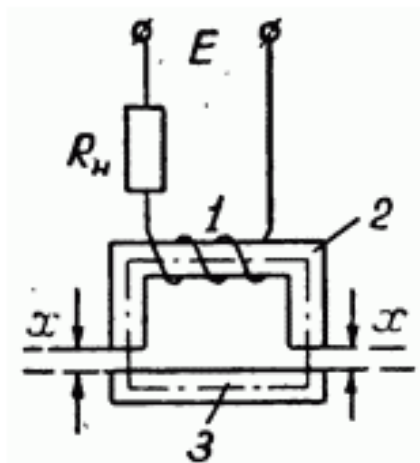


Рисунок 14 – Принцип действия индуктивного датчика (1 – катушка; 2 – ферромагнитный сердечник; 3 – якорь датчика)

Магнитные датчики имеют высокую точность измерения и широко распространены. Но данные датчики имеют недостаток, это ухудшенная линейность характеристики и малый диапазон измерения.

На рисунке 15 представлен магнитно-индуктивный датчик SICK расстояния серии MM08.

Основные технические характеристики:

- диапазон измерения: 0 – 60 мм;
- разрешение: 0,125 мм;
- цена: 5000 рублей [10].



Рисунок 15 – Магнитно-индуктивный датчик SICK серии MM08

Вихретоковые датчики широко применяются для диагностики промышленного оборудования. Катушка индуктивности находится в торце диэлектрического наконечника. С помощью электронного блока возбуждаются

электромагнитные колебания в катушке, в следствие возникает магнитное поле и оно взаимодействует с материалом объекта контроля. На поверхности объекта контроля наводятся вихревые токи, которые изменяют параметры катушки, а именно индуктивное и активное сопротивление. Параметры будут изменяться относительно изменению зазора между датчиком и объектом контроля. С помощью электронного блока данные изменения параметров катушки преобразуются в электрический сигнал.

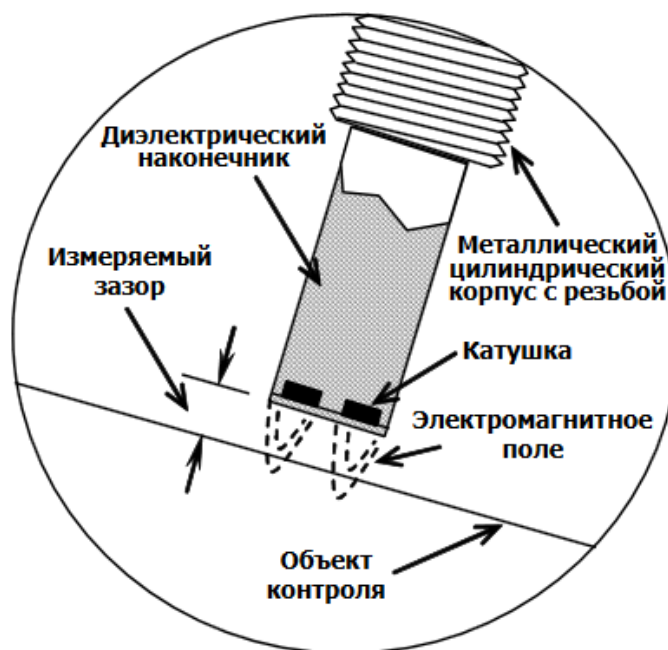


Рисунок 16 – Вихретоковый метод

Вихретоковые датчики имеют высокую точность измерения. Также вихретоковые датчики имеют меньшую стоимость по сравнению с триангуляционными, и более линейную характеристику по сравнению с магнитными.

На рисунке 17 представлены вихретоковые датчики Wayson расстояния и перемещения.

Основные технические характеристики:

- диапазон измерения: 0,5 – 10,0 мм;
- линейность макс.:  $\pm 0,15$ ;
- разрешение: 0,1 мкм;
- цена: 10000 рублей [11].





Рисунок 17 – Вихретоковые датчики Wauson серия TX

Оптимальным выбором для бесконтактного измерителя отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб является вихретоковые датчики.

## **8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.**

### **Введение**

Целью данного раздела является рассмотрение бесконтактного измерителя отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб, с экономической точки зрения.

Необходимо решить следующие задачи:

- структура работ в рамках научного исследования;
- определение трудоемкости выполнения работ;
- разработка графика проведения исследования;
- расчет материальных затрат;
- анализ конкурентоспособности измерителя.

### **8.1. Структура работ в рамках научного исследования.**

При планировании данного комплекса работ необходимо: определить структуру работы в рамках научного исследования; определить участников работы; установить продолжительность работ.

При выполнении научного исследования задействованы 2 человека. Студент анализирует и проводит исследование. Профессор кафедры является научным руководителем. Он консультирует студента по теме научного исследования.

В таблице 5 приведено распределение работ и исполнителей научного исследования.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение исследований патентов	Студент
	4	Выбор направления исследований	Студент, Научный руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Студент, Научный руководитель
Теоретическое исследование	6	Изучение номенклатуры бурильных труб и методов измерения отклонений от соосности	Студент
	7	Изучение методов измерения отклонений от соосности	Студент
	8	Изучение видов бесконтактных датчиков	Студент
Экспериментальное исследование	9	Исследование зависимости амплитуды выходного сигнала от зазора	Студент, Научный руководитель
	10	Определение функции преобразования и диапазона измерения	Студент
	11	Разработка структурной схемы измерителя	Студент
	12	Разработка алгоритма программы измерителя в LabView	Студент
	13	Написание программы измерителя в LabView	Студент

Продолжение таблицы 5

Обобщение и оценка результатов	14	Определение целесообразности исследования	Студент, Научный руководитель
--------------------------------	----	---	-------------------------------

## 8.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Важным аспектом любых исследовательских работ является трудоемкость их выполнения. Трудоемкость это вероятностная оценка стоимости исследований. Она оценивается в человеко-днях. Чтобы рассчитать трудоемкость работ, применяют формулу:

$$t_{ожi} = \frac{3*t_{mini}+2*t_{maxi}}{5}, \quad (21)$$

где  $t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы (человек-день).

С помощью ожидаемой трудоемкости можно определить продолжительность каждой работы (оценивается в рабочих днях  $T_p$ ).

Формула для расчета продолжительности работы:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (22)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы (человек-день);

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одну и тоже работу (человек);

$T_{pi}$  – продолжительность работы(рабочие дни).

### 8.3. Разработка графика проведения исследования

Наиболее наглядным и удобным графиком выполнения исследовательской работы является ленточный график, в виде диаграммы Ганта. На данном графике отображаются даты начала и окончания написания работы. Для удобства длительность каждого этапа переводится в календарные дни.

В приложение Б приведена длительность и этапы выполнения исследовательской работы (диаграмма Ганта).

### 8.4. Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат состоит из затрат на комплектующие для разработки измерителя и прочие расходы (таблица 6). Прочие расходы включают в себя затраты на: бумагу, краску, интернет, кабели, металлическую опору и металлический держатель.

Таблица 6 – Материальные затраты на комплектующие

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, руб.
Вихретоковый датчик BAW M12MG-UAC80F-S04G	шт.	2	10000	20000
Модуль USB	шт.	1	9500	9500
Персональный компьютер	шт	1	20000	20000
Прочие расходы				3000
<b>Итого</b>				<b>52500</b>

## 8.5. Анализ конкурентоспособности разработки

Конкурентоспособность товара наиболее важная характеристика на рынке. Контроль соосности сварных соединений проводится контактным методом. Поэтому, для уменьшения трудозатрат и повышения надежности контроля, разрабатывается бесконтактный измеритель отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб. Поэтому производители бурового оборудования заинтересованы в данной разработке.

Конкурентоспособность данного измерителя во многом зависит от его характеристик, стоимости.

В таблице 7 приведена оценочная карта, по которой можно сказать о конкурентоспособности данного измерителя по сравнению с контактным измерителем СКС 10.02.

Таблица 7 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		БИ	СКС	К <sub>БИ</sub>	К <sub>СКС</sub>
1	2	3	4	5	6
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
Повышение производительности труда пользователя	0,06	5	3	0,3	0,18
Удобство в эксплуатации	0,07	5	3	0,35	0,21
Помехоустойчивость	0,02	4	4	0,08	0,08
Энергоэкономичность	0,06	4	3	0,24	0,18
Надежность	0,1	5	4	0,5	0,4
Безопасность	0,05	5	5	0,25	0,25
Запоминание результатов измерения	0,05	4	5	0,2	0,25
Функциональная мощность(представляемые возможности)	0,06	5	5	0,3	0,3

Продолжение таблицы 7

Простота эксплуатации	0,06	5	4	0,3	0,24
Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	5	0,25	0,25
Возможность подключения к ПК	0,03	5	5	0,15	0,15
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>					
Конкурентоспособность	0,04	5	4	0,2	0,16
Уровень проникновения на рынок	0,04	3	4	0,12	0,16
Цена	0,15	4	4	0,6	0,6
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	5	0,5	0,5
Послепродажное обслуживание	0,06	5	5	0,3	0,3
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>74</b>	<b>67</b>	<b>4,64</b>	<b>4,21</b>

БИ – бесконтактный измеритель отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб, СКС – система контроля соосности 10.02.

Конкурентоспособность определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (23)$$

где  $K$  – конкурентоспособность измерителя;

$V_i$  – вес показателя (оценивается в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По результатам оценки конкурентоспособности, можно сказать, что бесконтактный измеритель технически и экономически конкурентоспособен.

## **8.6. Заключение по разделу “Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение”**

В данном разделе была определена структура работ, из которой видно, что основными исполнителями исследования являются студент и его научный руководитель. Также была построена диаграмма Гантта, из которой видно, что исследование продолжалось с сентября 2015 года по май 2017 года, и на ней показано распределение участия в исследовании исполнителей (студент и научный руководитель). Основное время разработки измерителя заняла экспериментальная часть, что также отражается в диаграмме Гантта. Далее были рассчитаны материальные и человеческие затраты, по результатам которых можно сказать, что основные материальные затраты ушли на составляющие измерителя. Также была определена конкурентоспособность измерителя, в результате чего, можно сделать вывод, что по техническим и экономическим показателям, а также из-за отсутствия бесконтактных аналогов, он конкурентоспособен. Это в очередной раз подтверждает актуальность выбора темы диссертации.



## Список публикаций студента

IV Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых “Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее”, статья “Магнитный толщиномер лакокрасочных покрытий на ферромагнитных материалах”, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, октябрь 2015, публикация статьи в сборнике.

VII Научно-практическая конференция с международным участием “Информационно-измерительная техника и технологии”, статья “Использование вихретоковых преобразователей для измерения расстояния до поверхности электропроводящего объекта”, Национальный исследовательский Томский государственный университет, май 2016, публикация статьи в сборнике.

VI Всероссийская научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов “Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность”, статья “Контроль расстояния до электропроводящей поверхности с помощью вихретокового преобразователя”, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, май 2016, публикация статьи в сборнике.

V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых “ Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее”, статья “Измерение отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб ”, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, октябрь 2016, публикация статьи в сборнике.

X Всероссийская научная конференция молодых ученых “Наука. Технологии. Инновации”, статья “Автоматизированная система измерения отклонений от соосности сварных соединений бурильных труб”,

Новосибирский государственный технический университет, декабрь 2016,  
сертификат участника, публикация статьи в сборнике.