

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование методов измерения толщины стенки легкосплавных бурильных труб УДК 531.717.85.084.2:622.24.053

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7Б	Марьина Арина Сергеевна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Жиронкин С.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева И.И.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 12.03.01 Приборостроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики
ОПК(У)-2	Способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способность выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат
ОПК(У)-4	Способность учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-5	Способность обрабатывать и представлять данные экспериментальных исследований
ОПК(У)-6	Способность собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по тематике исследования
ОПК(У)-7	Способность использовать современные программные средства подготовки конструкторско-технологической документации
ОПК(У)-8	Способность использовать нормативные документы в своей деятельности
ОПК(У)-9	Способность владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-10	Готовность пользоваться основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-5	Способность к анализу, расчету, проектированию и конструированию в соответствии с техническим заданием типовых систем, приборов, деталей и узлов на схемотехническом и элементном уровнях
ПК(У)-6	Способность к оценке технологичности и технологическому контролю простых и средней сложности конструкторских решений, разработке типовых процессов контроля параметров механических, оптических и оптико-электронных деталей и узлов
ПК(У)-7	Готовность к участию в монтаже, наладке настройке, юстировке, испытаниях, сдаче в эксплуатацию опытных образцов, сервисном обслуживании и ремонте техники
ПК(У)-8	Способность к расчету норм выработки, технологических нормативов на расход материалов, заготовок, инструмента, выбору типового оборудования, предварительной оценке экономической эффективности техпроцессов
ПК(У)-9	Способность к разработке технических заданий на конструирование отдельных узлов приспособлений, оснастки и специального инструмента, предусмотренных технологией
ПК(У)-10	Готовность к участию в работах по доводке и освоению техпроцессов в ходе технологической подготовки оптического производства
ПК(У)-11	Способность к организации входного контроля материалов и комплектующих изделий
ПК(У)-12	Готовность к внедрению технологических процессов производства, метрологического обеспечения и контроля качества элементов приборов различного назначения

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ 5.10.2020 Б.Б. Мойзес

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
1Б7Б	Марьина Арина Сергеевна

Тема работы:

Исследование методов измерения толщины стенки легкосплавных бурильных труб

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Приказ № 75-42_с от 16.03.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

11.06.2021

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Произвести обзор методов и средств контроля толщины стенки легкосплавных бурильных труб. Акцентировать внимание на бесконтактных методах контроля.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Требования стандартов к измерению толщины стенки легкосплавных бурильных труб. 2. Обзор существующих методов и средств контроля толщины стенки легкосплавных бурильных труб.
Перечень графического материала	По каждому методу пояснительный лист
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Жиронкин Сергей Александрович, д.э.н., профессор отделения социально-гуманитарных наук
«Социальная ответственность»	Авдеева Ирина Ивановна, старший преподаватель ООД
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	05.10.2021

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ТПУ	Якимов Е.В.	к.т.н.		05.10.2021

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7Б	Марьина Арина Сергеевна		05.10.2021

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

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения 2020/2021 учебные года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.11.2020	Обзор источников информации	20
29.11.2020	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
11.03.2021	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	20
11.05.2021	Проведение инженерных расчетов, сбор информации	20
29.05.2021	Разработка метода оценки фирм-производителей датчиков	5
29.05.2021 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
05.06.2021 г.	Оформление ВКР и презентационных материалов	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ТПУ	Якимов Е.В.	к.т.н.		01.10.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 12.03.01 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б7Б	Марьина Арина Сергеевна

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование. Научно-техническое исследование проводится в лабораторной аудитории 18 корпуса, ИШНКБ, ТПУ, отделение контроля и диагностики. В работе над проектом задействованы 2 человека: руководитель и студент.
Нормы и нормативы расходования ресурсов	
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Анализ конкурентных технических решений.
Планирование и формирование бюджета научных исследований	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ.
Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Проведение оценки экономической эффективности исследования толщины стенки легкосплавной бурильной трубы.

Перечень графического материала
1. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей 2. График проведения и бюджет НТИ 3. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 4. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Жиронкин С.А.	д.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7Б	Марьина Арина Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1Б7Б	Марьина Арина Сергеевна

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	12.03.01 Приборостроение

Тема ВКР:

Исследование методов измерения толщины стенки легкосплавных бурильных труб

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объект исследования – легкосплавные бурильные трубы. Рабочая зона – компьютерный класс. Рабочий процесс включает в себя работу с ПЭВМ. Площадь отапливаемого помещения 32.8 м², освещение смешанное, наличие ПК. Области применения – нефтегазовая промышленность, приборостроительные предприятия, лаборатории неразрушающего контроля.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Правовое обеспечение и организационные мероприятия согласно ГОСТ 12.4.299-2015 и ТК РФ от 30.12.2001 N197-ФЗ Законодательные и нормативные документы по теме: ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ ГОСТ 12.1.003-83 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Р 2.2.2006-05 СанПиН 2.2.4.548-96 СанПиН 1.2.3685-21 СП 60.13330.2016 СП 52.13330.2016 ГОСТ Р ИСО 14040-2010 ГОСТ Р МЭК 61511-1-2018 ГОСТ Р 22.0.01-2016 ГОСТ Р 22.3.03-94 ГОСТ Р 22.0.07-95 НПБ 104-03 Федеральный закон № 68-ФЗ от 21.12.1994 г. Федеральный закон. №123-ФЗ от 22.07.2013 г</p>
---	---

	<p>Федеральный закон №426-ФЗ от 28.12.2013 г.</p> <p>Федеральный закон № 421-ФЗ от 28.12.2013г.</p>
<p>2. Производственная безопасность:</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</p> <p>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Проанализировать вредные и опасные факторы при проведении исследования в учебной лаборатории:</p> <p><i>Опасные:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – поражения электрическим током; – короткое замыкание; – статическое электричество. <p><i>Вредные:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень шума на рабочем месте; – отклонения показателя микроклимат; – повышенный уровень вибрации; – отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная яркость свет; – вредные вещества. <p>Проанализировать влияние психофизиологических факторов: физические перегрузки, связанные с длительным нахождением в рабочей позе, умственное перенапряжение и монотонность труда.</p> <p>Предполагаемые мероприятия и средства защиты от действия опасных и вредных факторов: коллективная защита (вытяжные шкафы, вентиляция), смена деятельности и рабочего положения, соблюдение оптимального режима труда и отдыха.</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Рассмотреть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – влияние выбросов вредных веществ на атмосферу, гидросферу и литосферу при эксплуатации легкоплавной бурильной трубы; – влияние выбросов вредных веществ в результате процесса исследования; – специальные мероприятия по защите окружающей среды при ремонте, обслуживании и утилизации электросетевого оборудования; – утилизация ПЭВМ и сопутствующей оргтехники; – утилизация люминесцентных ламп и макулатуры.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Определить перечень наиболее возможных ЧС: пожар, взрыв, разлив нефти, обрушение здания, аварии на коммунальных системах, угроза террористического акта.</p> <p>Наиболее типичная ЧС – возникновение пожара;</p> <p>Рассмотреть профилактические мероприятия, требования к безопасности и меры по ликвидации её последствий:</p>

	1. использование огнетушителя, песка, асбестового одеяла, пожарного крана и пожарного щита; 2. обеспечение средствами индивидуальной защиты; 3. организационная эвакуация работников.
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева И.И.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б7Б	Марьина Арина Сергеевна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 94 с., 21 рис., 17 табл., 73 источников.

Ключевые слова: толщина, легкосплавная бурильная труба, измерение, контроль качества, контроль, инструмент.

Объектом исследования являются средства контроля толщины легкосплавной бурильной трубы.

Цель работы – произвести обзор требований стандартов к толщине стенки легкосплавной бурильной трубы, методов и средств контроля толщины стенки легкосплавной бурильной трубы.

В процессе исследования проводились анализ методов измерения толщины легкосплавной бурильной трубы и обзор приборов с особенностью их применения. Каждый прибор имеет свои особенности в использовании. При выборе оптимального типа прибора, необходимо учитывать такие факторы, как точность и простота использования, критерии применения, характеристики объектов измерения и ценовой диапазон.

В результате исследования были оценены преимущества и недостатки каждого из используемых методов, на основе этой оценки сделан вывод о наиболее подходящем методе контроля для решения поставленной задачи.

Степень внедрения: результаты исследования могут быть использованы в качестве рекомендаций для предприятий, производящих легкосплавные бурильные трубы, а также предприятий, использующих трубы в процессе бурения.

Область применения: предварительный контроль труб с помощью средств контроля толщины стенки легкосплавных бурильных труб в структурном, разведочном и эксплуатационном бурении, а также при капитальном ремонте скважин.

Экономической значимостью работы является, возможность сокращения затрат на проведение контроля исследуемого объекта. Посредством выбора наиболее экономического метода.

Оглавление

Введение.....	13
1.Требование к легкосплавным бурильным трубам.....	15
1.1 Общее положение.....	15
1.2 Сортамент.....	16
2 Методы измерения толщины стенки легкосплавной бурильной трубы.....	21
2.1 Магнитный метод.....	21
2.2 Акустический метод.....	25
2.3 Электромагнитно-акустический метод.....	33
2.4 Радиационный метод.....	37
2.5 Визуально-оптический метод.....	43
2.6 Вихретоковый метод.....	46
2.7 Вывод по разделу.....	51
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	52
3.1 Введение.....	52
3.2 Планирование научно - исследовательских работ.....	53
3.3 Определение трудоемкости выполнения работ.....	54
3.4 Разработка графика проведения научного исследования.....	55
3.5 Бюджет научно – технического исследования (НТИ).....	60
3.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	60
3.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	62
3.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	62
3.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	64
3.5.5 Накладные расходы.....	64
3.5.6 Формирование бюджета затрат научно – исследовательского проекта.....	65
3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	66

3.7 Вывод по разделу.....	68
4 Социальная ответственность.....	69
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	69
4.2 Профессиональная социальная безопасность.....	70
4.3 Экологическая безопасность.....	78
4.3.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.....	78
4.3.2 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	79
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	80
4.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.....	80
4.4.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	81
4.5 Вывод по разделу.....	83
Заключение.....	84
Список используемых источников литературы.....	85

Введение

Нефть и природный газ являются важными полезными ископаемыми, которые играют важную роль в жизни человека. Для добычи нефти использовалось механическое бурение скважин.

Механическое бурение скважин происходит посредством присоединения бура к бурильной колонне и с помощью талевой системы опускается в скважину вращательным, ударным или комбинированным способом. Бурильная колонна состоит из ведущей трубы, тонкостенных стальных бурильных труб и утяжелённых бурильных труб, к нижней части которых присоединяется буровое долото.

С увеличением глубины бурения появилась необходимость в более легких трубах. С такой задачей справляются легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ). Они изготавливаются из сплава алюминия, имеющего меньшую плотность в сравнении со стальными трубами. Бурильные трубы из алюминиевого сплава, так же, обладают такими преимуществами как, высокая прочность, коррозионная стойкость в агрессивных средах (сероводород и углекислый газ), усталостная стойкость, низкотемпературная пластическая прочность, имеют более гладкую внутреннюю и наружную поверхности, является немагнитным, что позволяет проводить измерения магнитометрическими инклинометрами через бурильную колонну. ЛБТ получили большое применение в нефтегазовой области: эксплуатационном, разведочном, структурно - поисковом бурении.

При бурении скважин важно сохранять надёжность бурильной трубы для обеспечения безопасности при ведении работ. Это достигается путем снижения напряженно - деформированного состояния трубы в условиях высоких температур и перегрузок. Существенно на это влияют вес и компоновка трубы.

В бурильной колонне наиболее подвержены разрушениям тело трубы и зона неразъёмного соединения. В условиях больших нагрузок и температур для предотвращения аварийных ситуаций существует необходимость

контролировать износостойкость легкосплавной трубы для её отбраковки. Использование разрушающего метода контроля недопустимо ввиду необходимости использования в дальнейшем оборудования. Поэтому контроль осуществляется диагностикой согласно инструкции по неразрушающему контролю бурового инструмента и оборудования при эксплуатации.

Контроль износостойкости осуществляется посредством измерения толщины стенки легкосплавной бурильной трубы. Его сложно переоценить, так как разрушение трубы может привести к созданию аварийной ситуации, а также к большим экономическим издержкам. Поэтому вопрос об измерении толщины стенки легкосплавной бурильной трубы является актуальным и имеет огромное значение.

1 Требования к легкосплавным бурильным трубам

1.1 Общее положение

Бурильные трубы представляют собой полые тонкостенные трубы из стали или алюминиевого сплава, которые используются на буровых установках. Она служит для выполнения нескольких задач в нефтегазовой области: для спуска в пробуренную скважину и подъема породоразрушающего инструмента, для передачи вращения, так же для транспортировки бурового раствора в забой пробуренной скважины. Бурильные трубы состоят из трубной заготовки и присоединительных концов (замковой муфты и замкового ниппеля). Они соединяются с трубной заготовкой либо посредством сварки, либо посредством трубной резьбы. Такая конструкция представляет собой бурильную трубу сборной конструкции.

На сегодняшний день основным материалом для изготовления бурильных труб является сталь, однако алюминиевые сплавы по некоторым характеристикам их превосходят, что определяет их эффективность и целесообразность использования в составе бурильных колонн [1].

В ЛБТ низкое значение модуля упругости алюминиевые сплавы, в 3.4 раза ниже, чем в стальных трубах. Это соотношение, имеющее решающее значение для предотвращения усталостную поломку бурильных труб [3]. Так же, такое соотношение позволяет сократить использование энергии при вращении и спускоподъемных операций. Преимущество алюминиевых сплавов заключается в их способности покрываться устойчивой окислительной пленкой, что защищает трубы от взаимодействия с окружающей средой.

Легкосплавная бурильная труба практически в 2,5 раза легче стальной трубы аналогичного типоразмера, и, соответственно, в буровом растворе эта разница возрастает еще [1].

При изготовлении легкосплавных бурильных труб распространено использование сплава Д16, который обладает наибольшей прочностью в сравнении с другими сплавами.

1.2 Сортамент

Легкосплавные бурильные трубы должны изготавливаться в закаленном и естественно состаренном состоянии из алюминиевого сплава марки Д16.

Существуют несколько классификации легкосплавных бурильных труб.

- по конструкции:
 - трубы сборной конструкции;
 - трубы цельной конструкции.
- по форме сечения:
 - с внутренними концевыми утолщениями (законцовками);
 - с внутренними концевыми утолщениями (законцовками) и протекторным утолщением.
- по виду изготовления:
 - без нарезанной резьбы;
 - с нарезанной правой резьбой и с навинченными стальными замками.
- по точности изготовления толщины стенки основного сечения:
 - нормальной точности;
 - повышенной точности

Размеры и предельные отклонения труб с внутренними концевыми утолщениями и с протекторным утолщением должны соответствовать значениям, указанным в таблицах 1 - 3 соответственно.

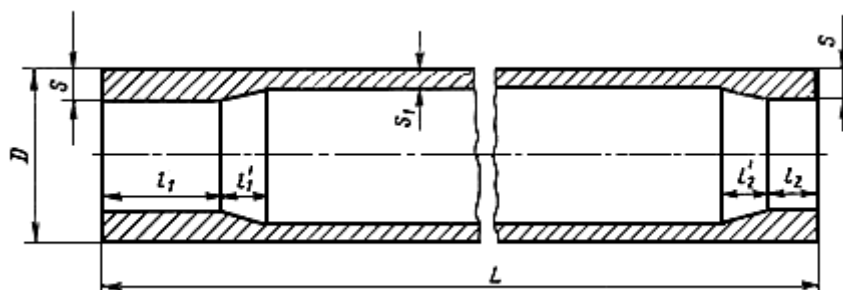


Рисунок 1.1 - Трубы с внутренними концевыми утолщениями (законцовками), изготавливаемые без резьбы

Таблица 1.1 - Параметры толщины стенки труб с внутренними концевыми утолщениями, изготавливаемых без резьбы

Наружный диаметр D		Толщина стенки концевого утолщения S		Толщина стенки основного сечения S ₁	Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения	
Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.		нормальной точности	повышенной точности
54	±0.6	13	±1.3	7.5	±0.7	±0.4
64	+1.5 -0.5		+1.5 -1.0	8.0	±0.8	
73		16	+2.0	9.0	±0.9	
90			-1.0			
95	+1.5 -1.0	26	+2.5 -1.5	8.0	±0.8	
103		15	+2.0 -1.0			
108		27	+2.5 -1.5			

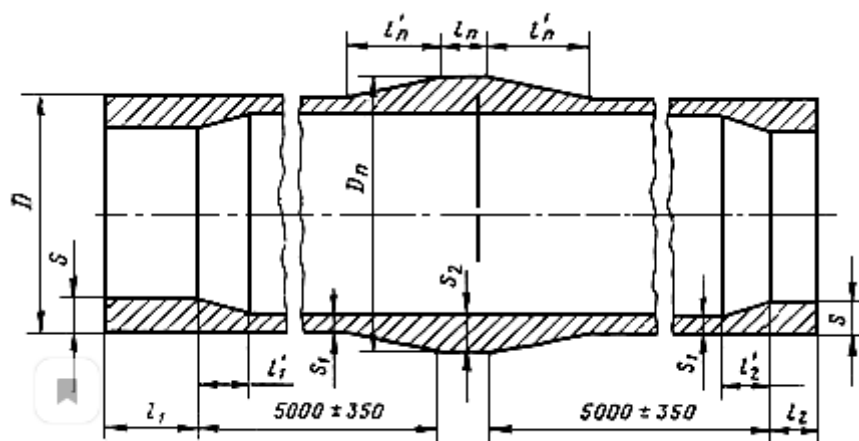


Рисунок 1.2 - Трубы с внутренними концевыми утолщениями и протекторным утолщением без нарезанной резьбы

Таблица 1.2 – Параметры трубы с внутренними концевыми утолщениями, изготавливаемых с нарезанной правой резьбой и навинченными стальными замками

Наружный диаметр D (пред. откл. +2.0 -1.0)	Толщина стенки концевого утолщения S (пред. откл. +2.5 -1.0)	Толщина стенки основного сечения S ₁	Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения		Толщина стенки протекторного утолщения S ₂ (пред. откл. +0.1 -0.2)
			нормальной точности	повышенной точности	

114	15	10	± 1.0	± 0.5	20
129	17	11	± 1.1	± 0.5	21.5
147					23.5
170					24.5
170		13	± 1.3	± 0.5	26.5

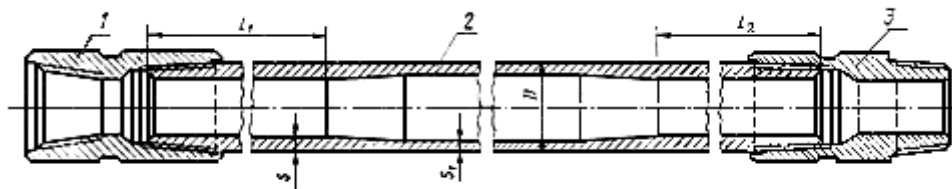


Рисунок 1.3 - Трубы с внутренними концевыми утолщениями с нарезанной правой резьбой и навинченными стальными замками: 1 - муфта замка; 2 - труба; 3 - ниппель замка

Таблица 1.3 - Параметры трубы с внутренними концевыми утолщениями и протекторным утолщением, изготавливаемых с нарезанной правой резьбой и навинченными стальными замками

Наружный диаметр D (пред. откл. $+2.0$ / -1.0)	Толщина стенки концевого утолщения S		Толщина стенки основного сечения S_1	Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения	
	Номин.	Пред. откл.		нормальной точности	повышенной точности
114	15	$+2.0$	10	± 1.0	± 0.5
129		-1.0	9	± 0.9	± 0.4
	17	$+2.5$ / -1.5	11	± 1.1	± 0.5
147	15	$+2.0$ / -1.0	9	± 0.9	± 0.4
	17	$+2.5$	11	± 1.1	± 0.5
	20	-1.5	13	± 1.3	± 0.5

Так же, допускается изготовление труб с размерами, не указанными в таблицах 1 - 3, без резьбы и без замков по согласованию с изготовителем.

Согласно таблице 1.1 минимальная толщина стенки трубы основного сечения S_1 составляет 7.5 мм, а максимальная 8 мм; и минимальная толщина стенки концевого утолщения S составляет 13 мм, а максимальная 27 мм. Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения нормальной

точности варьируются от ± 0.7 до ± 0.8 мм; повышенной точности составляет ± 0.4 мм.

Согласно таблице 1.2 минимальная толщина стенки трубы основного сечения S_1 составляет 10 мм, а максимальная 13 мм; и минимальная толщина стенки концевое утолщения S составляет 15 мм, а максимальная 17 мм. Минимальная толщина стенки протекторного утолщения S_2 составляет 20 мм, а максимальная 26,5 мм с предельным отклонением. Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения нормальной точности варьируются от ± 1.0 до ± 1.3 мм; повышенной точности составляет ± 0.5 мм.

Согласно таблице 1.3 минимальная толщина стенки трубы основного сечения S_1 составляет 10 мм, а максимальная 13 мм; и минимальная толщина стенки концевое утолщения S составляет 15 мм, а максимальная 20 мм. Предельные отклонения по толщине стенки основного сечения нормальной точности варьируются от ± 0.9 до ± 1.3 мм; повышенной точности от ± 0.4 до ± 0.5 мм.

Согласно ГОСТ 23786-79 (ИСО 5226-85) номинальная длина труб без протекторного утолщения должна быть:

- 4.5 м при наружном диаметре трубы 54 мм;
- 5.3 м при наружном диаметре трубы 64 мм;
- 9,0 м при наружном диаметре трубы свыше 64 до 110 мм;
- 12,0 м при наружном диаметре трубы свыше 110 мм;

Номинальная длина труб с протекторным утолщением должна быть 12.0 м, вне зависимости от величины наружного диаметра [2].

Предельные отклонения по длине труб не должны превышать плюс 150, минус 200 мм [2].

Допускаются трубы с предельными отклонениями по длине не более плюс 300, минус 350 мм в количестве не более 5% труб партии [2].

Нормальная длина трубы без дополнительных требований к коррозионной стойкости и теплостойкости должна составлять для труб с навинченным замком 5,5 м, без навинченных замков – 5,3 с допуском $\pm 0,25$ м.

Нормальная длина трубы с повышенной коррозионной стойкости должна составлять для труб с навинченным замком 9,0 м, без навинченных замков – 8,7 с допуском $\pm 0,25$ м.

Нормальная длина трубы с повышенной теплостойкости должна составлять для труб с навинченным замком 12,3 м, без навинченных замков – 12,0 с допуском $\pm 0,25$ м.

При измерении толщины стенки ЛБТ не должно быть наличия трещины, раковины, расслоения. Поверхность труб должна исключать неметаллические включения и пятна коррозии. Важным требованием при измерении является отсутствие плены, отслоения, пузырьков, забоин, царапин, рисок, вмятин, запрессовки, если глубина их залегания превышает предельные отклонения на толщину стенки. При контроле толщины стенки, наружная и внутренняя поверхности трубы должны быть чистыми.

Обмер труб по наружному диаметру и толщине стенки осуществляется с точностью до 0,1 мм.

Проверку наружного диаметра трубы, диаметра протекторного утолщения, толщины стенок концевых утолщений и длины концевых утолщений, а также длины протекторного утолщения проводят на каждой трубе партии.

Толщина стенки основного сечения, протекторное утолщение, а также длина переходных зон от основного сечения трубы к утолщениям проверяют на одной трубе от каждой 1000 труб [2].

2 Методы измерения толщины стенки легкосплавных бурильных труб

2.1 Магнитный метод

Магнитный метод НК основан на анализе взаимодействия магнитного поля с контролируемым объектом. Его применяют для контроля объектов из ферромагнитных материалов. По характеру взаимодействия физического поля с объектом этот вид не дифференцируют: во всех случаях используют намагничивание объекта и измеряют параметры, используемые при контроле магнитными методами. ГОСТ, контролирующий данный вид контроля является ГОСТ Р 55612-2013 «Контроль неразрушающий магнитный».

Преимущества магнитного метода

- высокая разрешающая способность;
- невысокая стоимость;
- простота использования.

Недостатки акустического метода

- невозможность проведения измерений толщины стенки при эксплуатации трубы;
- большая вероятность потери шарика;
- сложность проведения измерений.

Теоретические основы магнитного метода

В основе физического принципа эффекта Холла лежит сила Лоренца. Сила Лоренца создают при движении электрона в магнитном поле. Сила действует перпендикулярно движению электрона и линиям магнитной индукции B . При этом движение электрона задается этой силой и силой, внутреннего электрического поля. Сила Лоренца задается:

$$F_{\text{л}} = q \cdot [E + (v \cdot B)] \cdot \quad (2.1)$$

Эффект Холла показан на рисунке 2.1 для образца в форме стержня, в котором заряд переносится электронами. Постоянный ток I протекает через стержень, и на весь стержень действует магнитное поле B , которое направлено перпендикулярно току. Поскольку электроны перемещаются через магнитное

поле, они подвержены силе Лоренца и поэтому дрейфуют к вершине стержня, сохраняя при этом свое горизонтальное движение. Это приводит к накоплению отрицательного заряда с одной стороны стержня и положительного заряда с другой. Это приводит к разности потенциалов между двумя сторонами образца, которая может быть измерена как напряжение Холла U_H .

Это напряжение является напряжением Холла U_H и его величина равна IB/qnd , где I - ток, B - магнитное поле, d - толщина образца, q ($1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл) - элементарный заряд, n - электронная плотность. Из этого следует:

$$n_S = \frac{I \cdot B}{q \cdot |U_H|} \quad (2.2)$$

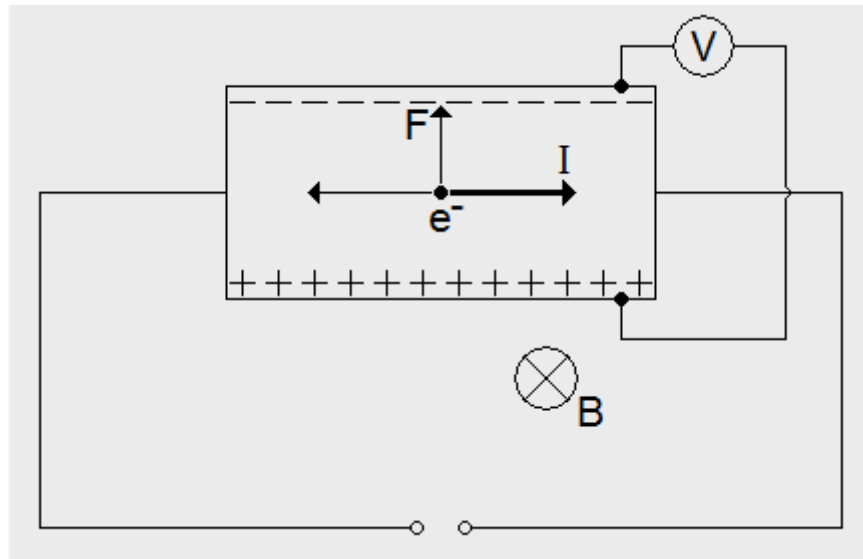


Рисунок 2.1 - Эффект Холла в стержне проводящего материала

Определение плотности n_S носителей заряда в полупроводниках осуществляется посредством измерения напряжения Холла U_H за счет известных параметров I , B , q (формула 2.3). По рисунку 2.1, для полупроводников n-типа напряжение Холла отрицательно, p-типа - положительно. Сопротивление R_S полупроводника может быть удобно определено с помощью метода измерения удельного сопротивления:

$$\mu = \frac{|U_H|}{R_S \cdot I \cdot B} = \frac{1}{q \cdot n_S \cdot R_S} \quad (2.3)$$

Приборы на основе магнитного метода

Magna-Mike8500 фирмы Olympus представляет собой портативный прибор, который использует метод магнитного поля для измерения толщины

неферромагнитных материалов. Магнитный зонд располагается с внешней стороны, а маленький шарик (целевой шар) на противоположной стороне. Датчиком Холла, расположенным в наконечнике зонда, измеряется расстояние до целевого шарика и отображается на цифровом дисплее.



Рисунок 2.1 - Толщиномер Magna-Mike8500

Для измерения толщины стенки изделия толщиномером Olympus Magna-Mike 8600 мишень помещается с одной стороны тестируемого материала, а магнитный датчик с другой. Magna-Mike 8600 измеряет расстояние между наконечником датчика и вспомогательным элементом, что соответствует значению толщины стенки. Датчик состоит из мощного постоянного магнита и полупроводникового сенсора Холла.

Сенсор Холла реагирует на малейшие изменения магнитного поля изменением напряжения. Мишень воздействует на магнитное поле от датчика, и чем ближе она к магниту, тем больше эффект. При изменении толщины, напряжение сенсора Холла меняется в предсказуемом направлении. Если прибор правильно откалиброван по тестовому образцу под конкретный датчик и мишень, то изменения напряжения переводятся в фактические значения толщины.

Магнитный толщиномер Olympus Magna-Mike 8600 является улучшенной версией толщиномера Magna-Mike8500. Главными особенностями данного толщиномера являются:

- возможность экспорта данных в Excel с помощью пакета WINXL;
- возможность подключения к портам USB и RS-232;
- возможность создания отчетов в самом приборе;
- блокировка прибора с помощью программируемого кода;
- возможность экспорта файлов с измерениями на карту памяти MicroSD в форматах .txt и CSV;
- возможность экспорта данных в другие программы SPC;
- расширенный буквенно-цифровой регистратор данных;
- внесен в реестр СИ.



Рисунок 2.2 - Толщиномер Magna-Mike8600

Таблица 2.1 - Технические характеристики магнитных толщиномеров

Модель	Диапазон измерений, мм	Предельно допускаемая абсолютной погрешности, мм	Стоимость, ₺
Страна производитель США, Ирландия. Фирма "Panametrics Ltd.			
Magna-Mike 8500	от 0,2 до 2,29	от $\pm 0,035$ до $\pm 0,136$	329460
	от 0,3 до 4,57	от $\pm 0,037$ до $\pm 0,2078$	
	от 0,5 до 6,35	от $\pm 0,015$ до $\pm 0,2155$	
	от 0,5 до 10,00	от $\pm 0,015$ до $\pm 0,325$	
Страна производитель США. Компания "Olympus NDT, Inc."			
Magna-Mike 8600	от 0,001 до 2,03	от $\pm 0,00304$ до $\pm 0,0312$	740602
	от 0,001 до 6,10	от $\pm 0,00304$ до $\pm 0,247$	
	от 0,001 до 9,14	от $\pm 0,00303$ до $\pm 0,277$	
	от 4,06 до 19,05	от $\pm 0,1248$ до $\pm 0,588$	
	от 4,06 до 25,4	от $\pm 0,1248$ до $\pm 0,765$	
	от 0,001 до 12,7	от $\pm 0,00303$ до $\pm 0,384$	
Страна производитель Франция. Фирма At2e			
AMTG-2	от 0,0 до 6,36	от $\pm 0,2$ до $(0,2 \pm 2,5)$ (при толщинах 0,0 до 2,29 мм); от $\pm 0,25$ до $\pm 2,5$ (при толщинах от 3,0 до 4,57 мм) от $\pm 2,45$ до $\pm 3,5$ (при толщинах от 4,58 до 6,36 мм)	1500000

2.2 Акустический метод

Акустический метод неразрушающего контроля основан на регистрации параметров упругих волн, возникающих или возбуждаемых в объекте контроля

Преимущества акустического метода

- доступ к одной стороне поверхности;
- высокая точность;
- оперативное получение результатов;
- сравнительно небольшие затраты на контроль;

- широкий диапазон измерений;
- мобильность и адаптивность;
- легкая автоматизации.

Недостатки акустического метода

- требование хорошего контакта с материалом (использование контактной жидкости);
- невозможность применения для объектов малых размеров.

Теоретические основы акустического метода

Теоретически для измерения толщины используют эхо - метод и резонансный метод. Метод локальных колебаний имеет существенные недостатки в сравнении с эхо - импульсным методом, такие как диапазон прозвучивания, требование к шероховатости и геометрии поверхности. Поэтому в настоящее время применяется только эхо - импульсный метод.

Эхо - метод

Ультразвуковой эхо - импульсный метод основан на способности ультразвуковых колебаний распространяться в акустически прозрачных материалах и отражаться от границы раздела двух сред. Определение толщины эхо - методом заключается в измерении времени, пройденного волной от момента излучения до момента приема отраженной волны, и умножении измеренного времени на коэффициент, учитывающий скорость звука в материале изделия.

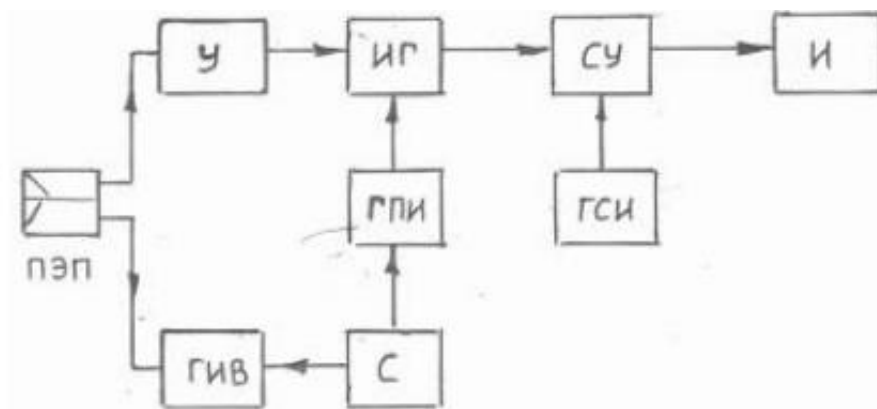


Рисунок 2.3 - Функциональна схема ультразвукового эхо - импульсного толщиномера

Синхронизатор (С) периодически вырабатывает импульс, который запускает генератор импульсоввозбуждения (ГИВ) и генератор пусковых импульсов (ГПИ). ГИВ вырабатывает короткий электрический импульс, возбуждающий передающую часть раздельно-совмещенного пьезоэлектрического преобразователя (РС ПЭП). После отражения от противоположной стенки измеряемого объекта ультразвуковой импульс попадает на приемную часть РС ПЭП, преобразуется в электрический сигнал и попадает на усилитель (У) [5].

При измерении времени излучения между зондирующим импульсом и отраженным импульсом не используется непосредственно первый импульс, так как возникает задержка при прохождении в ПЭП. Поэтому синхронизатор запускает ГПУ, вырабатывает пусковой импульс с некоторой задержкой. Он запускает ИГ. Прямоугольный импульс, созданный измерительным генератором останавливается первым эхо -импульсом (рисунок 2.3), прошедшим через усилитель из изделия.

Чтобы при измерении времени, оно не зависело от амплитуды импульсов используют автоколибрующийся толщиномер (рисунок 2.4).

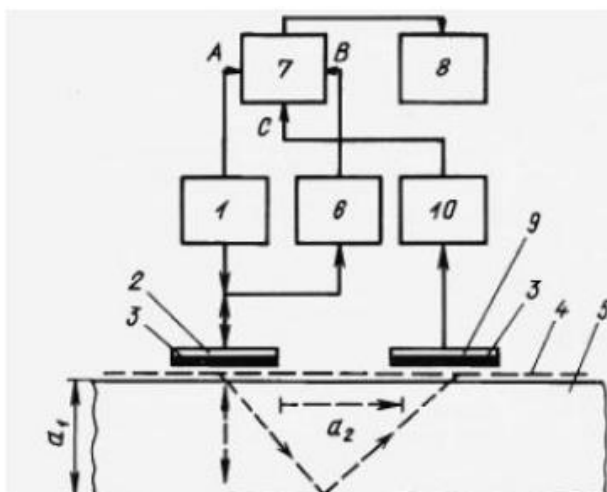


Рисунок 2.4 –Схема ультразвукового эхо - импульсного толщиномера с автокалибровкой: 1 - генератор, 2 - приемопередающий пьезоэлемент, 3 - защитный протектор, 4 – контактная жидкость, 5 - контролируемое изделие, 6 и 10 – усилители, 7 – измеритель временных интервалов, 8 – индикатор

Для исключения погрешности измерений, которые вызывается различием скоростей распространения УЗ в различных материалах, внешними факторами. В толщиномере используется принцип компенсации влияния измерений скорость ультразвука в материале, для этого используются две пьезопластины или две ПЭП.

Пьезоэлемент 2 (рисунок 2.4) излучает и принимает импульс, который прошел нормально поверхности изделия. Таким образом, геометрически можно вычислить толщину h изделия через расстояние, a между пластинами и временами t_1 и t_2 распространения ультразвуковых импульсов по двум путям.

$$h = \frac{a \cdot t_1}{2 \cdot \sqrt{t_2^2 - t_1^2}} \quad (2.4)$$

Толщиномер на основе акустического метода

Модель ультразвукового толщиномера - А1209 представляет собой компактное устройство, предназначенное для определения толщины стенок, покрытий, сосудов, котлов и параметров всех видов изделий из металла.



Рисунок 2.5 - Ультразвуковой толщиномер A1209

Универсальный ультразвуковой толщиномер с большим высококонтрастным дисплеем, встроенными дополнительными функциями и различными режимами измерения, возможность работы со всеми двух кристаллическими преобразователями в диапазоне от 4 до 10 МГц и встроенной памятью - все это гарантирует комфортную работу на любом объекте контроля. Запатентованный алгоритм автоматической адаптации к кривизне и шероховатости поверхности позволяет проводить измерения как на корродированных поверхностях с малым радиусом кривизны, так и на плоских гладких поверхностях без каких-либо дополнительных регулировок, что значительно упрощает и ускоряет процесс контроля. Измеренные данные можно переносить на компьютер для дальнейшей обработки и архивации. Использование А-1209 с высокотемпературным датчиком позволяет ему работать при температурах от -20 до +200 градусов.

Ультразвуковой толщиномер A1207 (рисунок 2.6) - миниатюрный ультразвуковой толщиномер карандашного типа со встроенным преобразователем частотой 4 МГц. Служит для определения толщины объекта при одностороннем доступе к его поверхности. Позволяет исследовать изделия из различных материалов, включая металлы и их сплавы, стекло, керамику и пластики. Прибор измеряет толщину в диапазоне от 0,8 до 100 мм по стали. Имеет специальное приложение для мобильных устройств. Удобен для проведения экспресс - диагностики.



Рисунок 2.6 - Ультразвуковой толщиномер А1207

Толщиномер «Булат 1S для подводных работ» (рисунок 2.7) измеряет толщину изделий из металлических и неметаллических материалов. Используется для материалов с защитными покрытиями, с коррозией и накипью. Диапазон контролируемых толщин: от 0,8 до 200 мм. «Булат 1S» автоматически определяет тип подключенного преобразователя. Обеспечивает светодиодную индикацию акустического контакта на преобразователях в подводном исполнении. Фиксирует минимальные показания за время акустического контакта датчика с изделием.

При работе прибор должен оставаться на поверхности, а преобразователь с длинным кабелем погружается под воду. Кабель может достигать 60 метров. Держатели преобразователей удобны для работы водолаза в рукавицах.



Рисунок 2.7 - Толщиномер «Булат 1S для подводных работ»

Таблица 2.2 - Технические характеристики ультразвуковых толщиномеров

Модель	Диапазон измерений, мм	Предельно допустимая абсолютная погрешности, мм	Стоимость, Р
Страна производитель Россия. Фирма «АКС»			
A1207	от 0,8 до 150	от $\pm 0,104$ до $\pm 0,85$	39500
	от 0,6 до 50,0	от $\pm 0,106$ до $\pm 0,6$	
A1208	от 0,7 до 30,0 от 0,8 до 300,0	от $\pm 0,107$ до $\pm 0,4$ (при толщинах от 0,7 до 3,0 мм)	92000
A1209	от 0,7 до 300,0	от $\pm 0,35$ до $\pm 0,045$ (при толщинах от 3,01 до 99,99 мм)	99500
A1210	от 0,7 до 300,0	от $\pm 1,1$ до $\pm 3,1$ (при толщинах от 100,0 до 300,0 мм)	116000
Страна производитель Россия. Фирма «Константа »			
Булат 3	от 0,5 до 300,0	от $\pm 0,0055$ до $\pm 0,015$ (при толщинах от 0,5 до 10,0 мм) от $\pm 0,11$ до $\pm 0,4$ (при толщинах от 10,0 до 300,0 мм)	96960
Булат 1S	от 0,4 до 300,0	от $\pm 0,004$ до $\pm 0,052$ (при	44309

		толщинах от 0,4 до 10,0 мм) от $\pm 0,1+$ до $\pm 1,55$ (при толщинах от 10,0 до 300,0 мм)	
Булат 1М	от 0.7 до 30.0		38880
Булат 1S для подводных работ	от 0.8 до 200.0	от $\pm 0,004$ до $\pm 0,052$ (при толщинах от 0,4 до 10,0 мм) от $\pm 0,1$ до $\pm 1,55$ (при толщинах от 10,0 до 300,0 мм)	70990
Страна производитель Германия. Фирма Krautkramer Branson			
DM5E	от 0,6 до 300	от $\pm 0,106$ до $\pm 3,1$	2545
	от 2 до 25	от $\pm 0,12$ до $\pm 0,35$	
DMS Go+	0,40 до 650	от $\pm 0,052$ до $\pm 3,3$	
CL5	0,13 до 500	от $\pm 0,0565$ до $\pm 25,05$	315639
Страна производитель Япония. Фирма Olympus Corporation			
27MG	0,50 до 635	от $\pm 0,105$ до $\pm 6,45$	147895
38DL PLUS	0,08 мм до 635	$\pm 0,1$	505000
45MG	0,080 до 635,00		357835
Страна производитель США. Фирма StressTel Corporation			
PocketMIKE	1,0 до 250	от $\pm 0,101$ до $\pm 0,35$	200000
Страна производитель Великобритания. Фирма "Sonatest Ltd."			
AlphaGage+	от 0,2 до 300	от $\pm 0,00306$ до $\pm 0,009$ (при толщинах 0,2 до 20 мм); от $\pm 0,036$ до $\pm 0,93$ (при толщинах св. 20 до 300 мм)	115000
Microgage II	от 0,15 до 25,4	$\pm 0,01$	105600
STEELGAGE III	от 0,63 до 199,9		200700
Alphagage	от 5 до 500		90000
CT-GAGE	от 0,15 до 99,9 от 2,5 до 199,9		110000
SONAGAGE II	от 0,75 до 199,9		$\pm 0,01$

2.3 Электромагнитно-акустический метод

Электромагнитно-акустический метод (ЭМА), основанный на возбуждении ультразвуковых колебаний в результате взаимодействия переменного и постоянного магнитных полей с металлом или ферромагнетиком. Ультразвуковая волна генерируется непосредственно в исследуемом объекте.

Преимуществами электромагнитно-акустического метода

- бесконтактный метод контроля;
- возможность проведения измерения сквозь неметаллические покрытия;

Недостатки электромагнитно-акустического метода

- низкая чувствительность и помехозащищенность;
- сложное оборудование.

Теоретические основы электромагнитно-акустического метода

Данный метод является в основе действия ЭМА преобразователя стоит электродинамическое и магнитоупругое взаимодействие. Данный метод заключается в регистрации ультразвуковой поперечной волны, которая распространяется по нормали к поверхности. Возбуждение акустических колебаний происходит посредством действия изменяющейся пондеромоторной сила F_p (рисунок 2.8 (сила указана стрелками)). Сила F_p создается за счет действия вихревых токов, созданных посредством переменного магнитного поля, которое свою очередь было создано мощным импульсом тока в катушки. Ток создается взаимным притяжением и отталкиванием ферромагнитного материала и индукционной катушки посредством магнитоупругого взаимодействия. Пондеромоторная сила пропорциональна произведению силы переменного тока I и магнитной индукции B . Следовательно, амплитуда упругих смещений пропорциональна произведению $I \cdot B$.

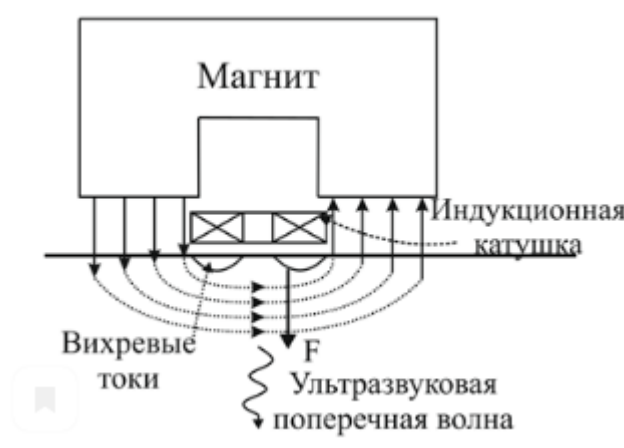


Рисунок 2.8 -Схема эма-преобразователя

Приборы на основе электромагнитно-акустического метода



Рисунок 2.9 - ЭМА толщиномер А1270.

Модернизированный толщиномер ЭМА с инновационной технологией электромагнитного смещения, реализованной в преобразователях ЭМА, предназначен для измерения толщины объектов из стали и алюминиевых сплавов без использования соединительной жидкости. Существенным преимуществом новой технологии является отсутствие постоянного магнита в ЭМА преобразователях, что позволяет избежать сильного прилипания преобразователя к поверхностям объектов из ферромагнитной стали; позволяя сканировать проверяемый объект и предотвращая прилипание металлической

стружки к протектору преобразователя, тем самым продлевая срок его службы. Измерение толщины металлических предметов с коррозией и лакокрасочным покрытием толщиной до 1,5 мм. Прибор отображает значение толщины металлического объекта без учета покрытия, если толщина покрытия составляет 1,5 мм и толщина величина обследуемого объекта до 15 мм;

ЭМА дефектоскоп с функцией толщинометрии Temate POWERBOX H предназначен для определения дефектов и их координат, так же имеет функции толщиномера.



Рисунок 2.10 - ЭМА дефектоскоп с функцией толщинометрии Temate POWERBOX H.

Temate POWERBOX H - единственный портативный прибор с батарейным питанием, способный генерировать пиковую мощность до 1200 В или 8 кВт на скорости до 300 Гц. В режиме эхо-импульсного сигнала встроенный переключатель передатчика / приемника позволяет подключаться напрямую к прибору без дополнительных аппаратных средств. Также доступна установка 600 В (около 3 кВт), чтобы продлить срок службы батареи, если приложение не требует полной мощности. Встроенное программное обеспечение POWERUT H позволяет пользователю изменять шаблоны запуска и приема, использовать расширенные фильтры для улучшения отношения сигнал-шум. Снимки экрана, настройки устройства и данные можно загрузить на ПК с помощью дополнительного программного обеспечения, поставляемого

с прибором. Innerspec POWERBOX Н можно использовать с любыми датчиками.

Таблица 2.3 - Технические характеристики электромагнитно-акустических толщиномеров

Модель	Диапазон измерений, мм	Предельно допускаемая абсолютной погрешности, мм	Стоимость, Р
Страна производитель Россия. Фирма ООО "Акустические Контрольные Системы" (АКС)			
A1270	от 0,7 до 100,0	от $\pm 0,017$ до $\pm 1,01$	270 000
КРМ-Ц-Дельта	от 2,0 до 100,0	от $\pm 0,02$ до $\pm 1,0$	110000
Страна производитель Россия. Фирма Октанта			
ЕМ1301	от 3,0 до 60,0	$\pm 0,04$	135 000
ЕМ2210	от 2,0 до 60,0		от 148 100
ЕМ1401			207 900
ED1370	от 0,0 до 10,0	от $\pm 0,2$ до $(0,2 \pm 2,5)$ (при толщинах 0,0 до 0,99 мм); от $\pm 0,25$ до $\pm 2,5$ (при толщинах от 1,0 до 3,9 мм) от $\pm 1,2$ до $\pm 2,07$ (при толщинах от 4,0 до 6,9 мм) от $\pm 2,45$ до $\pm 3,5$ (при толщинах от 7,0 до 10,0 мм)	135 000
Страна производитель Россия. Фирма НПЦ Кропус			
KROPUS AIR	от 2,0 до 60,0	$\pm 0,04$	от 148 080
Страна производитель Россия. Фирма NOVOTEST			
УТ-3М-ЭМА	от 0,6 до 200 (через покрытия до 6,0)	от $\pm 0,056$ до $\pm 2,005$	109 900
УТ-1	от 0,8 до 200	от $\pm 0,058$ до $\pm 2,005$	26 900
Страна производитель Россия. Фирма ООО "Компания "Нординкрафт"			
UltraSonic-R	от 1,5 до 100	$\pm 0,01$	100000
Страна производитель США. Фирма "Innerspec Technologies, Inc."			

Innerspec Powerbox HPowerBox H	от 2 до 100	от $\pm 0,02$ до ± 1	2 167 141
Страна производитель Китай. Компания Guangdong Goworld Co., Ltd.			
CTS-409	от 0,5 до 600	от $\pm 0,05$ (при толщинах 0,8 до 9,99 мм); от $\pm 0,14$ до $\pm 1,04$ (при толщинах от 10,0 до 99,99 мм) от $\pm 3,0$ до $\pm 18,0$ (при толщинах от 100,0 до 600,0 мм)	407666-512640

2.4 Радиационный метод

Радиационный неразрушающий контроль – это вид неразрушающего контроля, основанный на регистрации и анализе ионизирующего излучения после его взаимодействия с объектом контроля. Радиационный контроль в использует фотонное (в том числе рентгеновское), нейтронное и электронное излучение. Радиационная толщинометрия – радиометрический метод неразрушающего контроля, предназначенный для измерения толщины или поверхностной плотности материала.

Преимущества радиационного метода

- не требуется контакта с поверхностью ОК;
- чувствительность контроля;
- обеспечение обзора большого участка трубопровода;
- отсутствие требований к подготовке поверхности.

Недостатки радиационного метода

- высокие требования к охране труда;
- низкая скорость измерений;
- высокая стоимость оборудования;
- сложности в обработке результатов измерений.

Теоретические основы радиационного метода

Методы радиационного контроля классифицируются по виду (и источнику) ионизирующего излучения и по виду детектора ионизирующего излучения.

Ионизирующее излучение – это излучение при котором образуются электрические заряды при взаимодействии с средой. Для радиационного контроля используют излучение фотонов или нейтронов для обеспечения высокой проникающей способности. Наиболее широко используется рентгеновское излучение (X-лучи). Это фотонное излучение с длиной волны $6 \cdot 10^{-13} \dots 1 \cdot 10^{-9}$ м.

Измерение толщины радиационным методом основано на регистрации координаты, соответствующей толщине стенки S трубы при просвечивании. Изменяющаяся толщины Z материала трубы имеет острую точку перегиба и максимальна при:

$$Z = 2 \cdot \sqrt{S \cdot (D_H - S)} \quad (2.5)$$

где D_H – наружный диаметр трубы.

Изменение толщины материала на радиографическом снимке отображается в области значительного почернения (рисунок 2.11).

После пластина подвергается экспонированию и фотообработкой. На снимке наблюдается светлая полоса с изменяющейся областью почернения – от максимума, которая находится на границе профиля трубы, до минимума, которая соответствует границе внутренней поверхности трубы. Эти области соответствуют увеличенному изображению профиля стенки трубы S' .

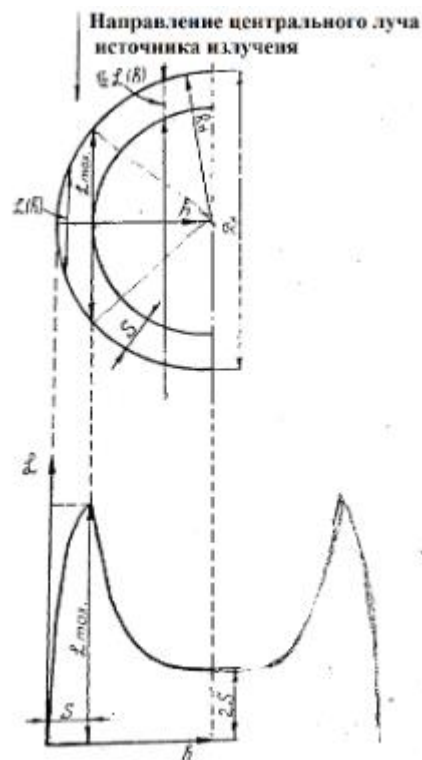


Рисунок 2.11 – Получаемая картинка при просвечивании трубы, зависимость толщины материала Z от величины стенки h

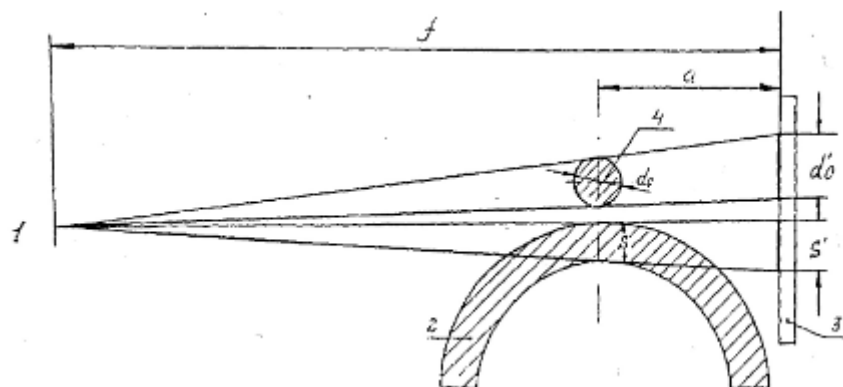


Рисунок 2.12 – Схема измерения толщины стенки радиационным методом трубопровода с использованием образца для сравнения (1 – источник излучения, 2 – контролируемая труба, 3 – кассета с запоминающей пластиной, 4 – контрольный образец)

Для относительных измерений толщины стенки применяют контрольный образец для сравнения геометрии. Это делают для того чтобы снизить влияние нерезкости и увеличения точности измерений, что невозможно сделать при абсолютных измерениях.

В качестве контрольного образца выступает стальной шарик, диаметр которого равен d_0 , он должен быть в несколько раз больше проектной толщины стенки трубы. Он помещается над стенкой трубы параллельно её оси. После чего на просвеченной пленке наблюдается увеличенные изображения толщины стенки S' и диаметр шарика d'_0 .

Реальная толщина стеки трубы:

$$S = \frac{d_0}{d'_0} \cdot S' \quad (2.6)$$

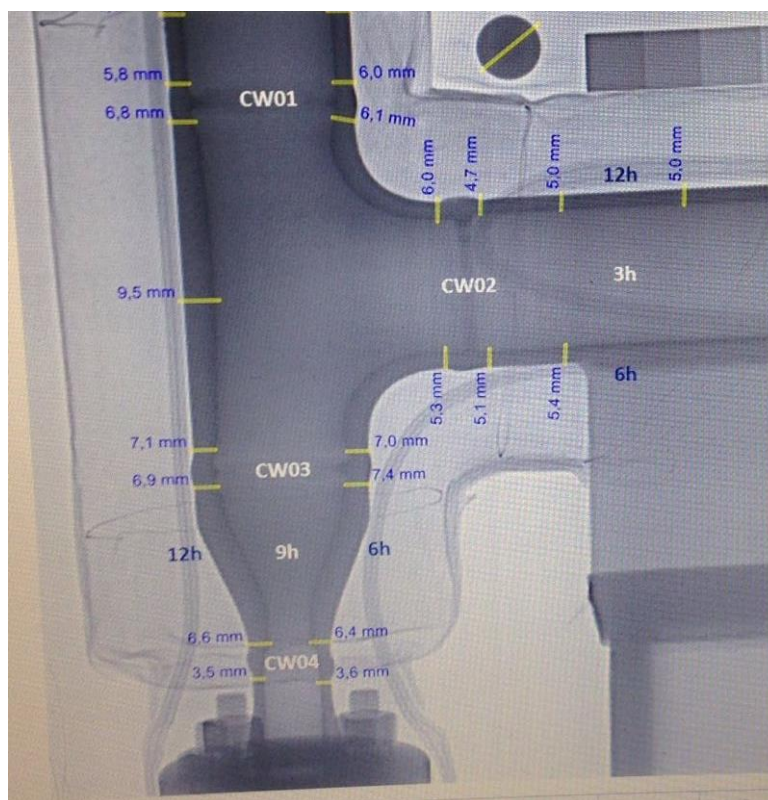


Рисунок 2.13 - Радиографический снимок трубы

Приборы на основе радиационного метода

Шланговый гамма-дефектоскоп Se-75 РИД-Se4P, предназначенный для работы с использованием новых уникальных высокоактивных острофокусных источников на основе радионуклида селен-75 активностью до 120 Ки.



Рисунок 2.14 - Шланговый гамма-дефектоскоп РИД-Se4P

Это один из наиболее распространенных дефектоскопов, выпускаемый в России, показал высокую надежность и безотказность в работе. Применение данного источников повышает производительность на 20-30% и чувствительность радиографического контроля в 1,5 раза по сравнению с другими источниками. Аппарат снабжен современными устройствами блокировок, безопасности и сигнализации. Блоки защиты радиационной головки и перезарядного контейнера выполнены из обедненного урана и заключены в корпус из нержавеющей стали.

Аппараты серии «АРИНА» предназначены для использования в качестве источника рентгеновского излучения при неразрушающем контроле материалов методом рентгенографии.

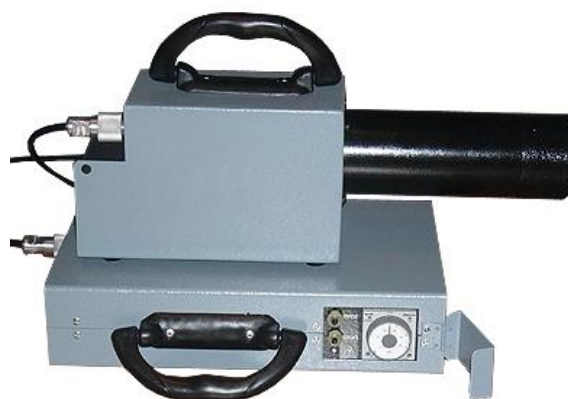


Рисунок 2.15 - Импульсный рентгеновский аппарат Арина - 3

Особенностью использования приборов АРИНА (АРИНА-1, АРИНА-3, АРИНА-7, АРИНА-9) является: во-первых, аппараты данного типа, весят меньше чем аппараты постоянного действия, по габаритным размерам они намного компактнее, имеют меньшую среднюю мощность рентгеновского излучения, а, во-вторых, в них нельзя производить регулировку ни тока, ни напряжения. Данные обстоятельства указывают на выбор наиболее оптимальных условий их применения.

Таблица 2.4 - Технические характеристики рентгеновских толщиномеров

Модель	Диапазон измерений, мм	Предельно допускаемая абсолютной погрешности, мм	Стоимость, Р
Страна производитель Россия. Фирма «Спектрофлэш»			
Арина-1	от 0,0 до 30,0		317000
Арина-3	от 0,0 до 30,0		333000
Арина-7	от 0,0 до 40,0		385000
Арина-9	от 0,0 до 85,0		410000
Страна производитель Россия. Компания НПП «Монотест»			
Моноскан-3	от 0,0 до 35,0		1000000
Моноскан-4	от 0,0 до 55,0		1500000
Страна производитель Россия. Фирма АО "Энергомонтаж Интернэшнл"			
РИД-SE 4P	от 3,0 до 30,0		2000000

2.5 Визуально-оптический метод

Визуально-оптический метод – метод неразрушающего контроля, основанный на получении первичной информации об объекте при визуальном наблюдении или с помощью оптических приборов. Этот метод неразрушающего контроля проводится без какого-либо оборудования или проводится с использованием простейших измерительных средств. ГОСТ, контролирующей данный вид контроля является ГОСТ 23479-79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида.

Преимущества визуально-оптического метода

- простота контроля, доступность, несложное оборудование;
- независимость от физических свойств материала;
- малая трудоемкость;
- малая себестоимость.

Недостатки визуально-оптического метода

- возможность измерения только с края трубы.

Теоретические основы визуально-оптического метода

Визуально – оптический метод основан на взаимодействии объекта контроля со световым излучением. Метод применяется на первом этапе контроля любых объектов контроля, после чего применяются другие виды неразрушающего контроля. Данный вид контроля проводится без использования оборудования, исключением являются простейшие измерительные средства. Если в визуально – оптическом контроле применяются измерительные средства, то такой контроль называется визуально – измерительным. В качестве измерительных средств для контроля толщины стенки используются микрометры и стенкомеры.

Основные законы геометрической оптики

1. В прозрачной однородной среде свет распространяется прямолинейно – закон прямолинейного распространения света.

2. Не зависимость распространения светового пучка от распространения других световых пучков – закон независимости хода световых пучков.
3. Закон отражения света – угол падения равен углу отражения, при чем эти два луча лежат в одной плоскости с нормалью к границе раздела двух сред.
4. Закон преломления света: угол падения равен углу преломления, при этом эти два луча лежат в одной плоскости.

$$n_{12} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (2.7)$$

где n_{12} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой, α – угол падения, β – угол отражения.

Приборы на основе визуально-оптического метода

Микрометр Vogel служит для измерения линейных размеров с высокой точностью. Микрометр является контактным прибором способный проводить измерения абсолютным или относительным способом. Погрешность измерений данным прибором достаточно мала (от 2 до 50), которая зависит от измеряемого диапазона.



Рисунок 2.16 - Микрометр Vogel 230130

Микрометр Vogel 230130 использует калиброванные винты для усиления на небольших расстояниях. Таким образом, каждый поворот наперстка/храповика соответствует очень небольшому увеличению расстояния.

Измерение проводится посредством передвижения винт вдоль оси при его вращения в гайке, гайка при этом остается неподвижной. Перемещение пропорционально углу поворота самого винта вокруг оси. На стебеле микрометра нанесены две шкалы, которые служат для определения полных оборотов и долей оборота

Для проведения измерения размеров детали, её необходимо поместить между измерительными плоскостями инструмента, при этом шаг винта составляет 0,5 – 1 мм, а на барабане нанесены от 50 до 100 делений для того, чтобы можно было получить отсчет в 0,01 мм.

Стенкомер индикаторный С-50 схож по старению и использованию с микрометром для измерения толщины стенок труб. Прибор имеет неподвижную верхнюю рамку с рукояткой, к которой прижимается верхняя подвижная рамка, между которыми помещается объект контроля. Так же имеет арретир, который предназначен для приведения измерительного стержня в рабочее положение. Для отображения значений используется индикатор часового типа, прикрепленного к верхней рамки. Его измерительный стержень упирается в горизонтальный выступ нижней рамки. Стрелка перемещается за счет изменения перемещения измерительного стержня. Тело прибора изготавливается из углеродистой или нержавеющей стали.



Рисунок 2.17 - Стенкомер С-50

Таблица 2.5 - Технические характеристики визуально-измерительных толщиномеров

Таблица 2.5 - Технические характеристики визуально - измерительных толщиномеров

Модель	Диапазон измерений, мм	Пределы допускаемой абсолютной погрешности, мм	Стоимость
Страна производитель Россия. ЗАО "Кировский завод "Красный инструментальщик",			
С-10А	от 0,0 до 25,0	±0,018	15 078
С-10Б	от 0,0 до 10,0	±0,1	17 989
С-25	от 0,0 до 10,0		31 135
Страна производитель Германия. Фирма Vogel Germany GmbH & Co. KG			
VOGEL 230130	от 0,0 до 25,0	±0,003	12748.52
VOGEL 230184	от 0,0 до 30,0	±0,003	95415.88
VOGEL 231088	от 0,0 до 25,0	±0,002	17236.8

2.6 Вихретоковый метод

Измерительные преобразования в полях вихревых токов (вихретоковые измерительные преобразования) основаны на возбуждении в электропроводящих объектах переменным магнитным полем вихревых токов и зависимости параметров этих токов от свойств объекта.

Преимуществами вихретокового метода

- возможность проведения бесконтактного измерения;
- высокая производительность (возможность произведения контроля на высоких скоростях);
- простота автоматизации.

Недостатки вихретокового метода

- возможное искажение одного параметра другими, при организации многокоординатного контроля;
- относительно не высокая глубина контроля.

Теоретические основы вихретокового метода

Вихретоковый метод контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых возбуждающей катушкой в электропроводящем объекте контроля этим полем. Для возбуждения электромагнитного поля применяют вихретоковый преобразователь (ВТП), в качестве преобразователя выступают одна или две индуктивные катушки. Вихревые токи создаются посредством пропускания синусоидального или импульсного тока через эти катушки

Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушки преобразователя, наводя в них ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение на катушках или их сопротивление, получают информацию о свойствах объекта и о положении преобразователя относительно его. Особенность вихретокового контроля в том, что его можно проводить без контакта преобразователя и объекта. Их взаимодействие происходит на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта (от долей миллиметров до нескольких миллиметров). Поэтому этими методами можно получать хорошие результаты контроля даже при высоких скоростях движения объектов.

Для измерения толщины стенки трубы необходимо возбудить магнитное поле, которое создается не только за соленоидом, но и внутри. Использование соленоида позволяет создать однородное поле. Поле направлено вдоль оси цилиндра, который заключен в измерительной обмотки радиуса R_1 . Такое исполнение позволяет усилить магнитное поле, так как ферромагнитный цилиндр, выступает в качестве ферромагнитного сердечника.

На рисунке 2.18 показаны - годографы от изменения параметра $\beta_2 = R_2\sqrt{\omega\sigma\mu_0}$ для различных значений относительной магнитной проницаемости материала μ_r и радиуса измерительной обмотки показаны сплошными линиями, а годографы от изменения магнитной проницаемости и радиуса цилиндра – пунктирными. При увеличении параметра $\beta_2 = R_2\sqrt{\omega\sigma\mu_0}$ амплитуда и фазы $U_{вн.}$, монотонно уменьшаются до нуля.

При $\beta_2 = 0$ и $R1 = R2$, где $R1$ – радиус цилиндра и $R2$ – радиус измерительной обмотки, значение амплитуды $U_m = \mu_r$ максимально. Монотонное уменьшение амплитуды $U_{вн}$ происходит при уменьшении значения магнитной проницаемости. Так же при уменьшении радиуса цилиндра, при $R2 = \text{const}$, амплитуда $U_{вн}$ уменьшается.

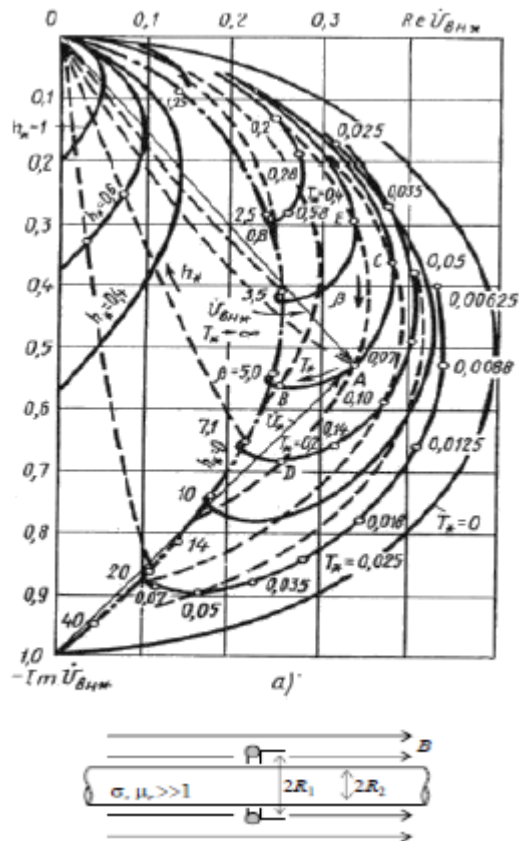


Рисунок 2.18 - Годографы относительного вносимого напряжения вихретокового преобразователя над электропроводящей поверхностью:

$$\eta = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^2 \quad (2.8)$$

$$\beta = R_2 \sqrt{\omega \sigma \mu_0} \quad (2.9)$$

$$d = R_1 - R_2 \quad (2.10)$$

где d – толщина измеряемого объекта.

Приборы на основе вихретокового метода

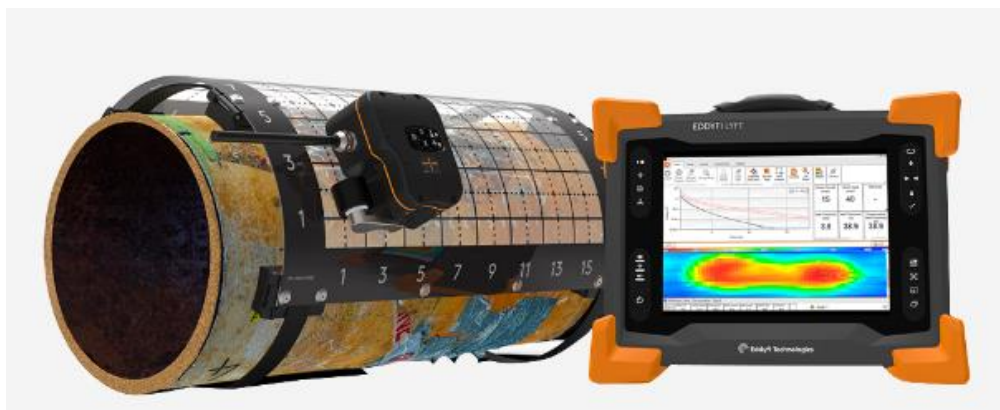


Рисунок 2.19 Сканирование прибором на основе вихретокового метода

Для генерации и захвата ПЭК сначала создается магнитное поле электрическим током в катушках зонда. Он проникает через облицовку, любую непроводящую изоляции и стабилизируется в толщине компонента. Затем излучение прекращается. Это резкое изменение вызывает вихревые токи, которые будут захвачены зондом. Eddyfi Lyft® прибор измеряет скорость затухания, а усовершенствованный алгоритм обработки сигналов преобразует электромагнитный сигнал в показания средней толщины по отпечатку пальца зонда.

Lyft-это современная высокопроизводительная система РЕС. Нет необходимости в подготовке поверхности, включая удаление покрытия/изоляции. Проверка может быть выполнена во время эксплуатации а, даже если температура контакта достигает 120° С (250° F).



Рисунок 2.20 – Одноэлементный импульсный вихретоковый зонд

The Lyft® совместимо с тремя одноэлементными зондами различных размеров. Семейство одноэлементных зондов обеспечивает гибкость для металла толщиной до 102 мм, изоляции до 305 мм (стекловолокно, пластиковая пленка, бетон и любой цветной материал). Зонды также обладают способностью осматривать труднодоступные участки различной геометрии. Зонды способны сканировать стены и трубы диаметром до 25 мм. Одноэлементный импульсный вихретоковый зонд имеет прочный корпус, и имеет дистанционное управление.



Рисунок 2.21 - Импульсная вихретоковая матрица (РЕСА). Зонд высокого разрешения

Зонд высокого разрешения РЕСА предназначенного для обеспечения наилучшей оценки толщины стенок. Используя массив двойных датчиков, зонд позволяет обнаруживать мельчайшие возможные дефекты с помощью импульсного вихревого тока технология, в пределах адекватного диапазона толщины стенок. Новый зонд в сочетании с передовой обработкой в реальном времени обеспечивает высочайшее качество данных с непревзойденной скоростью. Он поддерживает толщину металла 3-19 мм.

2.7 Вывод по разделу

Проведено исследование методов измерения толщины легкосплавной бурильной труб, были рассмотрены требования, по которым подбирались подходящие приборы. Всего было описано 6 методов неразрушающего контроля: магнитный, акустический, электромагнито - акустический, радиационный, визуально-оптический, вихретоковый. Для измерения толщины легкосплавной бурильной трубы применяются как бесконтактные методы измерения, так и контактные. Контактными методами являются: визуально-оптический, акустический, магнитный. Особенность акустического метода заключается в необходимости контактной жидкости между прибором и объектом контроля, так же требуется демонтаж защитного покрытия. Визуально-оптический метод производится только с края трубы, что сужает область измерения. Сложность магнитного метода заключается в использовании прибора для измерения толщины легкосплавной бурильной трубы, так как высока вероятность потери шарика. Использование бесконтактного метода существенно упрощает процесс измерения. К таким относятся радиационный, электромагнито-акустический, вихретоковый. Трудность в использовании радиационного метода – это сложность обслуживания оборудования и опасность для здоровья человека. В итоге, наиболее оптимальными методами измерения толщины стенки легкосплавной бурильной трубы являются вихретоковый и электромагнито-акустический. Приборы на основе этих методов обладают необходимыми характеристиками, такими как возможность бесконтактного измерения, высокая производительность, имеют широкий диапазон измерений.

При выборе оптимального типа прибора, необходимо учитывать такие факторы, как точность и простота использования, критерии применения, характеристики объектов измерения и ценовой диапазон.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Введение

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 т.д.

Данная выпускная квалификационная работа направлена на исследование физических основ, устройства, а также анализа технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения в области измерения толщины стенки легкосплавной бурильной трубы (ЛБТ). Данное исследование имеет большую значение, поскольку позволяет провести оценку эффективности научной работы и определить дальнейшее ее будущее. Дипломная работа актуальна на сегодняшний день, так как контроль и измерение толщины стенки ЛБТ является одной из важных задач в нефтегазовой промышленности. Предприятия нуждаются в качественных приборах для выполняющих поставленных задач.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности

научно - исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

3.2 Планирование научно - исследовательских работ

В данном разделе составили перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провели распределение исполнителей по видам работ.

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Составляется перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, распределяются исполнители по каждому виду работ (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Должность
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент, консультанты СО и ЭЧ
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследования	Руководитель, студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, студент
	4	Литературный обзор	Студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент

Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	8	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель, студент
<i>Проведение НИР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	9	Оценка эффективности производства и применения проектируемого решения	Студент, консультант ЭЧ
Испытание	10	Разработка социальной ответственности	Студент, консультант СО
Оформление отчета по НИР	11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

3.3 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} \quad (3.1)$$

где $t_{ожi}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (3.2)$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.4 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней переводятся в календарные дни по формуле:

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} \quad (3.3)$$

где T_{Ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (3.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,5$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округляются до целого числа.

Все рассчитанные значения сводятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работ	Трудоемкость работ			Исполнители	T_p , раб.дн.	T_k , кал.дн.
		t_{min} , чел-дн.	t_{max} , чел-дн.	$t_{ож}$, чел-дн.			
1	Составление и утверждение технического задания	0.3	1	0.6	Р	0.6	1
		0.3	1	0.6	С	0.6	1
		0.3	1	0.6	К ₁	0.6	1
		0.3	1	0.6	К ₂	0.6	1
2	Выбор направления исследования	0.5	2	1	Р	1	2
		0.5	2	1	С	1	2
3	Подборка и изучение материалов по теме	5	10	7	Р	7	11
		5	10	7	С	7	11
4	Литературный обзор	8	10	8.8	С	8.8	13
5	Календарное планирование работ по теме	1	2	1.4	Р	1.4	2
		1	2	1.4	С	1.4	2
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	7	10	8.2	С	8.2	12
7	Оценка эффективности полученных результатов	3	4	8.5	Р	8.5	13
		5	7	5.8	С	5.8	9
8	Определение целесообразности проведения НИР	5	7	5.8	Р	5.8	9
		5	7	5.8	С	5.8	9
9	Оценка эффективности производства и применения проектируемого решения	7	10	8.2	С	8.2	12
		7	10	8.2	К ₁	8.2	12
10	Разработка социальной ответственности	7	10	8.2	С	8.2	12
		7	10	8.2	К ₂	8.2	12
11	Составление пояснительной записки	11	16	13	С	13	20

Р – руководитель;

С – студент;

К1 – консультант по экономической части;

К2 – консультант по социальной ответственности.

На основе таблицы 3.2 строится календарный план-график (таблица 3.3). График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 3.3 - Календарный план-график (Диаграмма Ганта)

№	Название работ	Исполнители	Т _{кали} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, студент, консультанты СО и ЭЧ	1	■													
2	Выбор направления исследования	Руководитель, студент	2	■													
3	Подборка и изучение материалов по теме	Руководитель, студент	11		■												
4	Литературный обзор	Студент	13			■											
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент	2				■										
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	12				■	■									
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент	13 9					■	■	■							
8	Определение целесообразности проведения НИР	Руководитель, студент	9							■	■						
9	Оценка эффективности производства и применения проектируемого решения	Студент, консультант ЭЧ	12								■	■					
10	Разработка социальной ответственности	Студент, консультант СО	12										■	■			
11	Составление пояснительной записки	Студент	20												■	■	■

3.5 Бюджет научно - технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

3.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды, а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i} \quad (3.5)$$

где m - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i - цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Материальные затраты, необходимые для данной разработки записаны в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, Z_M , руб.
Бумага	лист	200	0.5	120
Ручка	шт.	1	50	60
Тетрадь	шт.	1	85	102
Стирательная резинка	шт.	1	25	30
Итого				312

3.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. В моей работе не используется специальное оборудование. Следовательно, считаем, что нет затрата на специальное оборудование для научных работ.

3.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, который составляет 26300 руб.

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент, который составляет 1,3.

$$Z_{\text{м.рук.}} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{м.ст.}} = 15656 \cdot 1,3 = 20352 \text{ руб.}$$

где $Z_{\text{м.}}$ - месячный должностной оклад работника, руб.

$$Z_{\text{дн.}} = \frac{Z_{\text{м.}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (3.6)$$

где $Z_{\text{дн.}}$ - среднедневная заработная плата работника, руб;

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

F_d - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

$$Z_{\text{дн.рук.}} = \frac{34190 \cdot 10,4}{299} = 1189 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн.ст.}} = \frac{20352 \cdot 11,2}{247} = 923 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{ду.}} \cdot T_p \quad (3.7)$$

где $Z_{\text{осн.}}$ – основная заработная плата;

T_p - продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$$Z_{\text{осн.рук.}} = 1189 \cdot 24 = 28536 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.ст.}} = 923 \cdot 68 = 62764 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_b , руб.	$k_{\text{пр}}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{\text{дн}}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	26300	-	-	1.3	34190	1189	24	28536
Студент, оклад инженера	15656	-	-	1.3	20352	923	68	62764

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{доп}} \quad (3.8)$$

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

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

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

$$Z_{\text{доп.рук.}} = 0,12 \cdot 28536 = 3424 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{доп.ст.}} = 0,12 \cdot 62764 = 7532 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}} \quad (3.9)$$

Общая заработная плата исполнителей работы представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{\text{осн.}}$, руб.	$Z_{\text{доп.}}$, руб.	$Z_{\text{зп}}$, руб.
Руководитель	28536	3424	31960
Студент	62764	7532	70296
Итого			102256

3.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (3.10)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2021 г. установлен размер страховых взносов для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность равный 20%.

$$Z_{\text{внеб.рук.}} = 0,2 \cdot 31960 = 6392 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{внеб.ст.}} = 0,2 \cdot 70296 = 14059 \text{ руб.}$$

3.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование

материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\sum \text{сумма статей} \right) \cdot K_{\text{нр}} \quad (3.11)$$

где $K_{\text{нр}}$ - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Таким образом, накладные расходы равны:

$$Z_{\text{накл}} = (312 + 102256 + 20451) \cdot 0.16 = 19683 \text{ руб.}$$

3.5.6 Формирование бюджета затрат научно - исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Расчет материальных затрат НИИ	312	Пункт 4.4.1.
2. Заработная плата исполнителей темы	102256	Пункт 4.4.3.
3. Отчисления во внебюджетные фонды	20451	Пункт 4.4.4.
4. Накладные расходы	19683	Пункт 4.4.5.
5. Бюджет затрат НИИ	142702	Пункт 2.4.6

3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат исполнения научного исследования.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (3.12)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ - интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

Φ_{pi} - стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} - максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (3.13)$$

где I_{pi} - интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i - весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

a_i^a, b_i^p - балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n - число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1
1.Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0.2	5
2.Ремонтопригодность	0.1	5
3.Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителя)	0.15	4
4.Универсальность	0.2	4
5.Надежность	0.2	5
6.Материалоемкость	0.15	4
ИТОГО	1	4.5

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0.2 + 5 \cdot 0.1 + 4 \cdot 0.15 + 4 \cdot 0.2 + 5 \cdot 0.2 + 4 \cdot 0.15 = 4.5$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} \quad (3.14)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 3.9) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.1}} \quad (3.15)$$

Таблица 3.9 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп. 1
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1

2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4.5
3	Интегральный показатель эффективности	4.5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1

3.7 Вывод по разделу

В рамках данного раздела ВКР был составлен перечень этапов работ и определена их трудоемкость, построен календарный план-график выполнения работ. Рассчитан ориентировочный бюджет на создание научной разработки, а также проведена оценка эффективности научного исследования с позиции ресурсосбережения и сравнительная эффективность разработки.

Расчет коэффициента календарности позволил сделать план-график научно-технического исследования. Содержание работ для проведения исследования составило 11 пунктов. Для иллюстрации календарного графика была использована диаграмма Ганта, обладающая высокой степенью информативности. Общая продолжительность исследования составила 107 дней. Проведенный расчет стоимости НИИ показал, что общая стоимость составляет 142702 рублей. Таким образом, можно сделать вывод, что данная разработка обладает достаточно высокой ресурсоэффективностью.