

Министерство образования и науки 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

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ методов и средств измерения остаточной толщины магистрального трубопровода

УДК 620.179.16:622.691.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Рубаненко Сергей -		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Гальцева О.В.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Спицын В.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для разработки, производства, отладки, настройки и аттестации средств приборостроения с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОПК-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10); ОК-3,9; ПК-2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11.12, 13, 14, 15, 16,17, 18), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Участвовать в технологической подготовке производства, подбирать и внедрять необходимые средства приборостроения в производство, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов; принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК-7; ПК-8,9,10, 11, 12, 13-18) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Эксплуатировать и обслуживать современные средств измерения и контроля на производстве, обеспечивать поверку приборов и прочее метрологическое сопровождение всех процессов производства и эксплуатации средств измерения и контроля; осуществлять технический контроль производства, включая внедрение систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-9, ОПК-3; ППК-14, 15, 16). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Использовать творческий подход для разработки новых оригинальных идей проектирования и производства при решении конкретных задач приборостроительного производства, с использованием передовых технологий; критически оценивать полученные теоретические и экспериментальные данные и делать выводы; использовать основы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ОК-3,ОК-6, ОПК-2, 3,4, 5, 6, 7,8,9, ПК-1,2,9,14). Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Планировать и проводить аналитические, имитационные и экспериментальные исследования по своему профилю с использованием новейших достижения науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта в области знаний, соответствующей выполняемой работе	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6 ОПК-2, 3,4,5,6; ПК-1,2,3,4). Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	Использовать базовые знания в области проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; уметь делать экономическую оценку разрабатываемым приборам, консультировать по вопросам проектирования конкурентоспособной продукции	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-6,8,14,17), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
Р7	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-17), Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а так же различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-2, 4, 8, 9,10; ОПК-9) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-4), Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____Мойзес Б.Б.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4А	Рубаненко Сергею -

Тема работы:

Анализ методов и средств контроля остаточной толщины магистрального трубопровода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является участки магистральных нефтегазовых трубопроводов. Предметом исследования является остаточная толщина магистрального трубопровода.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Подготовка литературного обзора по методам неразрушающего контроля и измерения основных характеристик магистральных трубопроводов. Разработка дополнительных разделов: - финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; - социальная ответственность. Заключение по работе.

Перечень графического материала	Презентация
--	-------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Анализ методов и средств контроля остаточной толщины магистрального трубопровода	Гальцева О.В.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Спицын В.В.
Социальная ответственность	Анищенко Ю.В.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Обзор литературы
Методы неразрушающего контроля и измерения основных характеристик магистральных трубопроводов
Экспериментальное исследование образцов магистрального трубопровода
Социальная ответственность
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Гальцева Ольга Валерьевна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Рубаненко Сергей -		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4А	Рубаненко Сергею -

Инженерная школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение	Электронной инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.01 Приборостроение

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

1. <i>Стоимость исследования ресурсов (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Научно-техническое исследование проводится в лабораторной аудитории №409, 18 корпус, ИШНКБ, ТПУ, отделение контроля и диагностики. В работе над проектом задействованы 2 человека: руководитель и студент.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>- Анализ конкурентных технических решений</i>
2. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, и организация закупок</i>	<i>- Структура работ в рамках научного исследования; - Определение трудоемкости выполнения работ; - Разработка графика проведения научного исследования; - Бюджет научно-технического исследования (НИИ).</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта</i>	<i>- Анализ и оценка научно-технического уровня проекта;</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- График проведения и смета затрат*
- Диаграмма Ганта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын Владислав Владимирович	к.э.н. Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата

1Б4А	Рубаненко Сергей -		
------	--------------------	--	--

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1Б4А	Рубаненко Сергею -

Институт	ИШНКБ	Отделение	ОКД
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Приборостроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Проведение теоретического обзора методов и средств контроля остаточной толщины магистрального трубопроводов. Измерение остаточной толщины магистральных трубопроводов с помощью ультразвукового толщиномера в лабораторных условиях. А также разработка технологической карты.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	<ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата – повышенный уровень шума на рабочем месте – повышенный уровень ультразвука – отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная яркость света – Токсические и раздражающие вещества – поражение электрическим током
2. Экологическая безопасность	<ul style="list-style-type: none"> – анализ влияния процесса исследования на окружающую среду
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	<ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б4А	Рубаненко С. -		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 73 страницы, 9 рисунков, 11 таблиц, 28 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: ультразвуковая толщинометрия, остаточная толщина, магистральный трубопровод, толщиномер.

Цель исследований: анализ методов и средств контроля остаточной толщины магистрального трубопровода.

Изучены оптический, магнитный, вихретоковый, акустический методы контроля параметров магистральных трубопроводов.

Проведены эксперименты по определению остаточной толщины с помощью ультразвукового толщиномера УТ-93П. Данный прибор разрешен для применения в промышленности.

Объектом исследований являются участки магистральных нефтегазовых трубопроводов, а предметом исследования - контроль остаточной толщины магистрального трубопровода.

По результатам измерений контролируемого участка магистрального трубопровода была рекомендована его дальнейшая эксплуатация.

применения: строительные, нефтедобывающие, энергетические предприятия.

Применение акустического метода контроля остаточной толщины трубопровода, и использование прибора УТ-93П (ультразвуковой толщиномер) обусловлено надежностью, точностью определения толщины и простотой эксплуатации, позволяет с наименьшей стоимостью проводить анализ по определению остаточной толщины трубопроводов.

Оглавление

Введение	11
1. Обзор литературы	12
2. Методы неразрушающего контроля и измерения основных характеристик магистральных трубопроводов.....	13
2.1 Оптический метод	13
2.2 Магнитный метод.....	15
2.3 Вихретоковый метод.....	18
2.4 Акустический метод	24
3. Экспериментальное исследование образцов с различной остаточной толщиной.....	28
3.1 Описание стенда для широкого выбран виде экспериментальных исследований	28
3.2 Методика проведения эксперимента.....	31
3.3 Регистрация результатов контроля.....	37
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	42
4.1 Анализ конкурентных технических решений	42
4.2. Планирование научно-исследовательских работ	44
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования	44
4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ	46
4.2.3. Разработка графика проведения научного исследования	47
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	52
4.3.1. Расчет материальных затрат НТИ	52
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование.....	53
4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы.....	54
4.3.4. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	55
5. Социальная ответственность	58
5.1 Производственная безопасность.....	58
5.1.1 Анализ вредных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	58
5.1.2 Анализ опасных факторов, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований	61
5.2 Экологическая безопасность.....	62
5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	63
5.4 . Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	65

Заключение	67
Список используемых источников.....	68
Приложение 1	71
Приложение 2	72

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день поднятие качества технического диагностирования трубопроводов, проработавших свой нормативный срок, на предприятиях различных назначений является актуальной задачей. В частности, при расчете остаточного ресурса действующих трубопроводов экспертные организации используют усредненный статистический подход. При проведении подобных расчетов не принимается во внимание действительное техническое состояние отдельных локальных участков трубопровода, что в конечном итоге не обеспечивает достоверной оценки его работоспособности в течение разрешенного срока. Анализ причин отказов магистральных трубопроводов с течением времени показал, что в процессе эксплуатации наиболее возможны местные или локализованные повреждения, а не общее ухудшение характеристик материала по всей длине трубопровода. Причинами таких дефектов являются интенсивные пластические деформации, развивающиеся в зонах перенапряжений по причине технологических дефектов, дефектов монтажа (сварка под напряжением), коррозионных повреждений, подвижек грунта, температурных и других воздействий, создающих неоднородные статические и динамические нагрузки. [1]

Цель работы заключается в экспериментальном исследовании остаточной толщины магистрального трубопровода. Исходя из анализа теоретических данных, имеющейся технологии и с точки зрения экономических возможностей, прибором исследования является ультразвуковой толщиномер У93П.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Толщинометрия – это метод исследования толщины и целостности материалов. для контроля толщины и целостности материала необходимо учесть множество факторов.

Необходимость проводить контроль остаточной тощины магистральных трубопроводов привёл к появлению разнообразия методов неразрушающего контроля. В данной работе рассматриваются методы средства контроля остаточной толщины магистральных трубопроводов. Результат контроля – это заполнение технологической карты

Все методы основаны на физических закономерностях.

2. Методы неразрушающего контроля и измерения основных характеристик магистральных трубопроводов

2.1 Оптический метод

Визуальный осмотр, возможно, самая древняя и распространённая форма неразрушающего контроля. Проводя осмотр, исследователь получает множество данных о состоянии контролируемого объекта, включая информацию о состоянии поверхности, формы, цвета, характера дефектов и т. п. Визуальный осмотр даёт возможность сосредотачиваться на выявленных дефектах, осмысливать их характер и прогнозировать возможность последствий. Первые попытки усовершенствования возможностей визуального осмотра были сделаны в медицине. Для обследования полости рта и горла были созданы специальные оптические приборы с подсветкой, позволяющие с некоторым увеличением рассматривать труднодоступные для осмотра области организма. Эти приборы, получившие название бороскоп, стали применяться и в диагностике технических устройств. Бороскоп, представляет собой конструкцию из тонких трубок, с увеличивающей оптикой снабжённых средствами подсветки. Их можно было наращивать, раздвигать и даже сгибать под прямым углом, что давало возможность наблюдать состояние поверхностей в узких и труднодоступных местах, в отверстиях, в углублениях, в различных каналах, а также внутренние стенки цилиндров и труб. По мере развития стекловолоконной технологии, были созданы гибкие оптические устройства наблюдения: эндоскопы. Эндоскопы существенно расширили возможности визуального наблюдения, давая возможность осматривать даже те участки внутренних поверхностей, которые находятся не на прямой линии наблюдения, а скрыты многочисленными изгибами и поворотами. Стекловолоконные эндоскопы позволили проводить обследование на большом расстоянии и большим разрешением. В следующем поколении лампа накаливания была заменена оптической подсветкой волокна. Таким образом, степень

освещённости была значительно увеличена, и позволяла производить фотосъёмку обследуемого участка. [2]

Приборы оптической толщинометрии по принципу действия можно разделить на оптико – геометрические (триангуляционные, фокусирующие, светового сечения), спектрофотометрические, а также интерферометры и эллипсомеры. Действие спектрофотометрических толщиномеров основано на законе Бугера:

$$D_{\lambda} = \frac{I_{\lambda}}{I_{0\lambda}} = k l ,$$

где D_{λ} – оптическая плотность прозрачного объекта, I_{λ} и $I_{0\lambda}$ – спектральные интенсивности излучения до и после прохождения объекта толщиной l , мм; k – коэффициент спектральной абсорбции (поглощения) материала изделия, мм^{-1} .

Обычно определяют область длин волн, соответствующих резонансному поглощению света (полосы поглощения) в материале для многих полимеров (полиэтилен, полипропилен и др.) свойственна, например, линия поглощения на $\lambda = 2,35$ мкм. В приборе используют пару сменных фильтров – первый соответствует полосе поглощения, второй – соответствует области длин, где поглощение не зависит от толщины пленки.

В режиме на отражение в дальнем ИК – диапазоне возможен контроль толщины коррозионных фосфатных покрытий на листах металла для автомобильной и других отраслей.

Лазерная эллипсометрия основана на анализе изменения состояния поляризации света, отраженного от поверхности изделия. Метод позволяет контролировать с высокой точностью толщины ($10^{-2} \dots 2 * 10^{-7}$ мм) и показатели преломления до (10^{-5}). Применение лазеров позволило резко повысить чувствительность и информативность эллипсометрического метода, так как они определяются главным образом монохроматичностью и степенью направленности источника излучения.

На контролируемый объект направляют под некоторым углом i_0 монохроматический плоскополяризованный луч. Вектор амплитуды электрического поля может быть разложен на составляющие E_p и E_s ориентированный соответственно параллельно и нормально к плоскости падения. После отражения (или прохождения) луча от объекта его составляющие изменяют свою амплитуду и фазу и он становится эллиптически поляризованным, т.е. конец его описывает эллипс в плоскости, нормальной к направлению распространения.

2.2 Магнитный метод

Одним из методов измерения толщины являются магнитные методы неразрушающего контроля. Данные методы применимы для толщинометрии защитных покрытий на изделиях из ферромагнитных материалов. По способу получения первичной информации различают следующие магнитные методы контроля: магнитопорошковый, магнитографический, феррозондовый, эффект Холла, индукционный, пондеромоторный, магниторезисторный. Принцип магнитного контроля толщины основывается на измерении магнитных полей и их неоднородностей. Для проведения исследований рядом с объектом контроля от внешнего источника генерируется магнитное поле с известными параметрами.. Магнитные измерители толщины предназначены для толщинометрии защитных покрытий на изделиях из ферромагнитных материалов. На результаты измерений в большей степени оказывают влияние магнитные свойства материала деталей, на которые нанесено покрытие. Поэтому магнитные толщиномеры настраиваются с помощью эталонных образцов, изготовленных из той же стали, что и контролируемые объекты.

Большую часть магнитных толщиномеров представляют приборы пондеромоторного действия, работа которых основана на измерении силы отрыва или притяжения постоянных магнитов и электромагнитов к объекту

контроля. Основной недостаток приборов данной группы – цикличность процесса измерения, которая необходима для тщательного измерения силы до момента отрыва магнита. Наиболее совершенными они имеют приборами данного типа являются толщиномеры системы Н.С. Акулова.

Действие магнитостатических толщиномеров основано на контроле изменения напряженности магнитного в цепи электромагнита или постоянного магнита при изменении дистанции между ним и ферромагнитным изделием в связи с наличием немагнитного покрытия. Информация о толщине покрытия регистрируется магниточувствительными элементами, расположенных либо между полюсами магнита (в магнитной нейтрали), либо около одного из его полюсов. Датчики магнитостатических толщиномеров имеют, таким образом, магнитную основу, что дает возможность в процессе проведения измерений «примагничивать» их к поверхности исследуемых объектов. Рамки с током, магнитные стрелки, феррозонды, датчики Холла и другие элементы могут применяться в качестве магниточувствительных. [3]

Одним из наиболее популярных в использовании магнитных толщиномеров является - толщиномер покрытий магнитный МТ2007 (далее по тексту – толщиномер) предназначен для измерения толщины немагнитных диэлектрических покрытий (лаки, краски и другие диэлектрики) или проводящих немагнитных покрытий (цинк, хром, алюминий, медь и др.), нанесенных на ферромагнитное основание. На рисунке 2.1 изображен базовый комплект толщиномера покрытий.



Рисунок 2.1 – Магнитный толщиномер покрытий МТ-2007.

Толщиномер подходит для проведения контроля в лабораторных и цеховых условиях на предприятиях машиностроения, энергетики, радиоэлектроники и других отраслей. [4]

Область применения магнитного толщиномера:

- Нефтегазовая промышленность;
- Химическая, пищевая промышленность;
- Судостроение и судоремонт;
- Тепловая и атомная энергетика;
- Трубопрокатные, машиностроительные и транспортные предприятия;
- Коммунальное хозяйство.

Параметры объекта контроля, ограничивающие область применения толщиномера, для диапазона $5 \div 2000$ мкм:

- толщина основания – не менее 0,5 мм;
- дистанция от центра преобразователя до края основания – не менее 15 мм;
- радиус кривизны поверхности контролируемого объекта – не менее 20 мм;

- параметр шероховатости поверхности покрытия и основания – не более Ra10;
- температура объекта контроля соответствует температуре окружающего воздуха.

Параметры объекта контроля, ограничивающие область применения толщиномера, для диапазона 50÷20000 мкм:

- толщина основания – не менее 1,5 мм;
- дистанция от центра преобразователя до края основания – не менее 25 мм;
- радиус кривизны поверхности объекта контроля – не менее 40 мм; – параметр шероховатости поверхности покрытия – не более Ra23;
- температура объекта контроля соответствует температуре окружающего воздуха.

Нормальные условия испытаний толщиномера:

- температура окружающего воздуха плюс (20±5) °С;
- относительная влажность воздуха от 30 до 80 %;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа. 1.4

Эксплуатационные условия толщиномера:

- температура окружающего воздуха от 0 до плюс 40 °С;
- относительная влажность воздуха до 80% при температуре плюс 35 °С;
- атмосферное давление от 84 до 106 кПа.

2.3 Вихретоковый метод

Методы вихретокового контроля основаны на законе электромагнитной индукции (М.Фарадей, 1831). Согласно М.Фарадею, внешнее по отношению к среде переменное магнитное поле наводит электродвижущую силу (ЭДС),

которая, если среда проводящая, создает в ней вихревые токи, регистрирующиеся измерительным преобразователем. В качестве преобразователя используются обычно индуктивные катушки (одна или несколько). Электромагнитное поле вихревых токов действует на катушку преобразователя, проводя в них ЭДС или изменяя их полное сопротивление. Рассмотрим общую функциональную схему вихретокового контроля на примере прибора с накладным измерительным преобразователем (рисунок 2.2).

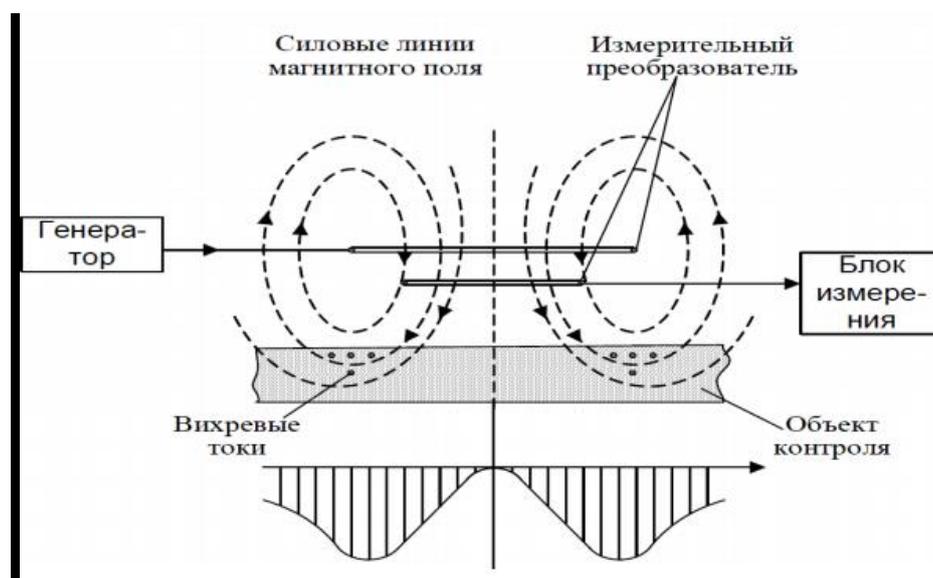


Рисунок 2.2 – Принцип действия прибора с накладным преобразователем.

Измерительный преобразователь состоит из возбуждающей обмотки, подключенной к генератору переменного тока, и измерительной обмотки, которая подключена измерителя. Действующий в катушке, создает электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте. Электромагнитное поле вихревых токов воздействует на катушку преобразователя измерительной обмотки, наводя в ней ЭДС или изменяя их полное электрическое сопротивление. Регистрируя напряжение на зажимах катушки или их сопротивление, получают информацию о свойствах объекта и о положении преобразователя относительно него.

Напряжение зависит от следующих причин (факторов): толщины исследуемого изделия, электрической проводимости объекта, магнитной проницаемости, состояния поверхности, наличия и размеров дефектов, вазора и ориентации оси преобразователя, химического состава и структуры, температуры и т.д. Магнитное поле преобразователя возбуждает в плоском объекте контроля концентрические вихревые токи, плотность которых максимальна на поверхности электропроводящего объекта в контуре, диаметр которого близок к диаметру возбуждающей обмотки. Магнитное поле вихревых токов противоположно первичному магнитному полю возбуждающей обмотки, поэтому результирующее поле зависит от электромагнитных свойств контролируемого объекта и от расстояния между преобразователем и объектом (от вазора). Важная особенность вихретокового контроля – это бесконтактность, т.е. между объектом контроля и преобразователем создается небольшое (до 2 мм), но достаточное расстояние для свободного движения преобразователя. Вихретоковый метод позволяет производить контроль на больших скоростях, которые недоступны другим методам. Получение информации в виде электрических сигналов, бесконтактность и высокое быстродействие вихретокового контроля – все это определяет высокую производительность и возможность автоматизации контроля. На сигналы вихретокового преобразователя практически не влияют давление, влажность, загрязнение поверхности объекта и загрязненность газовой среды. Вихретоковые преобразователи устойчивы к механическим и атмосферным воздействиям, могут работать в агрессивных средах, при высоких температурах и давлениях, из за того что в большинстве случаев катушки преобразователей помещают в предохранительный корпус и герметически закрывают. [5]

К недостаткам вихретокового метода контроля следует отнести, во-первых, то, что можно проводить контроль только у электропроводящих объектов: металлы, сплавы, графит, полупроводники, во-вторых, малую глубину зоны контроля, которая не превышает нескольких миллиметров, так

как определяется глубиной проникновения в контролируемую среду электромагнитного поля. С помощью вихретокового контроля обнаруживают такие дефекты как: несплошности, выходящие на поверхность или залегающие на небольшой глубине, а также разнообразные трещины, расслоения, закаты, плены, раковины, неметаллические включения и т.д. При использовании накладного преобразователя при благоприятных условиях контроля и минимальном влиянии негативных факторов удается выявить трещины глубиной 0,1-0,2 мм, протяженностью 1-2 мм, а при использовании проходного преобразователя – трещины протяженностью около 1 мм и глубиной 1-5% от диаметра контролируемой проволоки или прутка. Наличие дефекта на поверхности изделия или на небольшой глубине приводит к изменению траектории вихревых токов (рисунок 2.3). И, как следствие, к изменению ЭДС на измерительной обмотке.

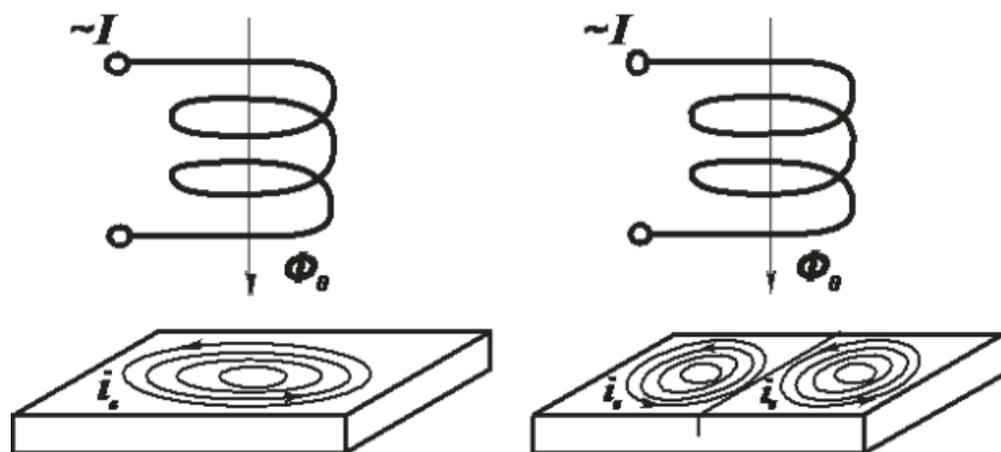


Рисунок 2.3 – Изменение траектории вихревых токов в области дефекта.

Способ вихретокового измерения толщины тонких неферромагнитных металлических покрытий, заключающийся в том, что для зондирования подают гармонический сигнал выбранной частоты на обмотку возбуждения, установленную на середине ферритового сердечника, снимают сигналы с одинаковых измерительной и компенсационной обмоток, установленных на противоположных концах ферритового сердечника, находят их разностный сигнал и измеряют его фазу φ , при зондированиях объекта измерений

прижимают к нему конец ферритового стержня с измерительной обмоткой, отличающееся тем, что выбирают оптимальную $f_{\text{опт}}$ частоту обмотки возбуждения из соотношения $f_{\text{опт}} = (0,3 \dots 0,7) / (\pi \mu_0 \sigma_{\text{п}} T_{\text{пmax}}^2)$, где μ_0 - магнитная постоянная; $\sigma_{\text{п}}$ - электропроводность покрытия; $T_{\text{пmax}}$ - максимальная толщина покрытия, перед началом измерений балансируют измерительную и компенсационную обмотки, добиваясь нулевого разностного сигнала при отсутствии объекта измерений, устанавливают прокладку из неферромагнитного металла, близкого по электропроводности к материалу покрытия между ферритовым стержнем и объектом измерений, толщину прокладки выбирают так, чтобы при ориентировочно известных параметрах исследуемого объекта и ферритового стержня с обмотками обеспечить максимальную расчетную чувствительность амплитудно-фазовых характеристик разностного сигнала от толщины покрытия объекта, при зондировании измеряют дополнительно амплитуду A разностного сигнала, градуируют измеритель, для чего зондируют мерные объекты, имеющие характеристики, близкие к исследуемому объекту, с несколькими известными толщинами $T_{\text{п}}$ покрытия и при нескольких известных значениях зазоров h между ферритовым стержнем с прокладкой и поверхностью мерных объектов сохраняют зависимость амплитуд и фаз разностных сигналов от толщин покрытия и зазоров $A, \varphi(T_{\text{п}}, h)$, зондируют исследуемый объект, вычисляют толщину покрытия $T_{\text{п}}$, зазор h между ферритовым стержнем с прокладкой и поверхностью покрытия объекта по измеренным значениям амплитуды A и фазы φ разностного сигнала, используя зависимость $A, \varphi(T_{\text{п}}, h)$. [6]

Одним из простейших вихретоковых толщиномеров является вихретоковый измеритель толщины покрытий ВТ-201 (рисунок 2.4) предназначен для измерения толщины немаetalлических покрытий (лаки, краски, пластик и т.п.), нанесенных на metalлическое немагнитное основание (алюминий, медь, титан и т.п.). В данном измерителе толщин используется микропроцессор, благодаря которому осуществляется управление работой всех

элементов схемы и измерение. Размах измеряемых толщин покрытий от 5 до 1100 мкм. Толщиномер используется в лабораторных и цеховых условиях предприятий машиностроения, энергетики, радиоэлектроники и других отраслей.



Рисунок 2.4 – Вихретоковый толщиномер ВТ-201.

2.2. Контроль обеспечивается при выполнении следующих условий:

- дистанция от края преобразователя до края основания - не менее 1,0 мм;
- толщина основания - не менее 0,8 мм;
- значение шероховатости контролируемой поверхности основания и покрытия - не более $Rz = 40$ мкм;
- радиус кривизны поверхности объекта контроля - не менее 5 мм;
- температура объекта контроля соответствует температуре окружающей среды.

Измерение осуществляется путем установки преобразователя (датчика) на контролируемую поверхность без дополнительных зазоров. При измерении следует установить датчик на контролируемый участок изделия и после установления показания отсчитать измеряемую толщину покрытия по цифровому индикатору. После проведения каждого последующего измерения

необходим подъем датчика над поверхностью не менее, чем на 2 мм. При установке датчика на поверхность контролируемого изделия необходимо соблюдать аккуратность. Попадание грязи, стружки и т.п. под рабочий порец датчика может существенно исказить результат измерения и вызвать повреждение датчика. Запрещается перемещать датчик по объекту путем скольжения. Перемещать датчик возможно только его перестановкой.

2.4 Акустический метод

Акустический метод основан на использовании звуковых и ультразвуковых колебаний, которые характеризуются длиной волны, частотой и скоростью. Длина волны может изменяться от нескольких километров до долей миллиметров.

Колебания ультразвукового и звукового диапазонов частот от 50 Гц до 50 МГц используют для акустического метода неразрушающего контроля

Механические колебания среды, распространяющиеся в упругой среде, называют акустическими волнами. При движении волны частицы не перемещаются, а совершают колебания около своих положений равновесия. Дистанция между ближайшими частицами, которые колеблются в одинаковой фазе, называется длиной волны λ .

В зависимости от направления колебаний частиц по отношению к направлению распространения волны различают: продольные, поперечные, поверхностные и нормальные волны (волны в пластинах).

Если частицы колеблются вдоль направления распространения волны – волна продольная. Колебания могут распространяться в твердой, жидкой и газообразных средах. [7]

В поперечной волне направление колебаний частиц среды перпендикулярно направлению распространения. Они могут распространяться только в среде, которая обладает упругостью формы.

Продольные и поперечные волны в чистом виде распространяются только в неограниченной среде или теле, размеры которого в направлениях, не совпадающих с направлением распространения волны, значительно превышают длину последней. Схематичное изображение продольных и поперечных волн представлены на рисунке 2.5.

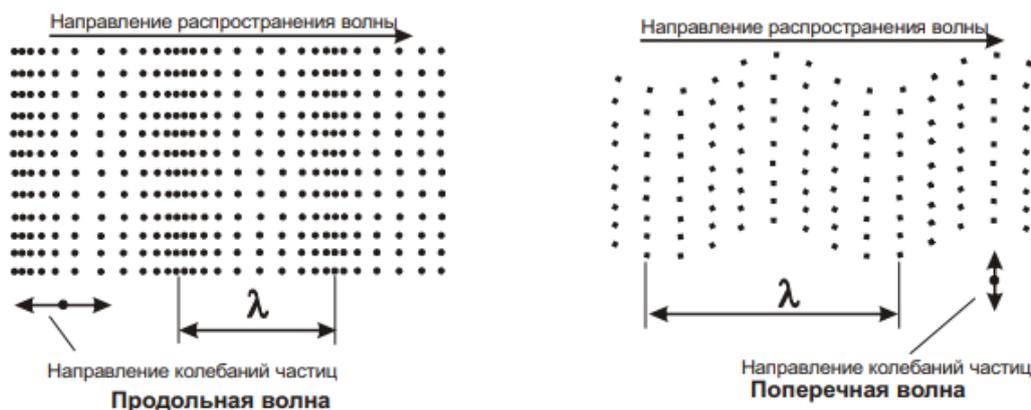


Рисунок 2.5 – Распространение продольных и поперечных волн.

На свободной поверхности могут распространяться поверхностные волны (волны Рэлея).

В поверхностной волне частицы одновременно совершают колебания в перпендикулярно направлению распространения и в его направлении, описывая эллиптические или более сложные траектории. Амплитуда – колебания по мере удаления от поверхности вглубь убывает по экспоненте, поэтому волна локализована в тонком поверхностном слое, толщиной в одну – полторы длины волны и следует изгибам поверхности на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 – Распространения поверхностных волн.

При распространении волны в плоских телах с постоянной толщиной (листах, тонких пластинках, проволоке) могут возникать нормальные волны

или волны Лэмба. При этом частицы колеблются по таким же траекториям, как в поверхностной волне, но на всю толщину листа, пластины юбочки. Как правило возникают и распространяются независимо две нормальные волны: симметричная и антисимметричная (волна изгиба) на рисунке 2.7.

Скорости распространения продольной, поперечной и поверхностной волн определяется упругими свойствами материала.

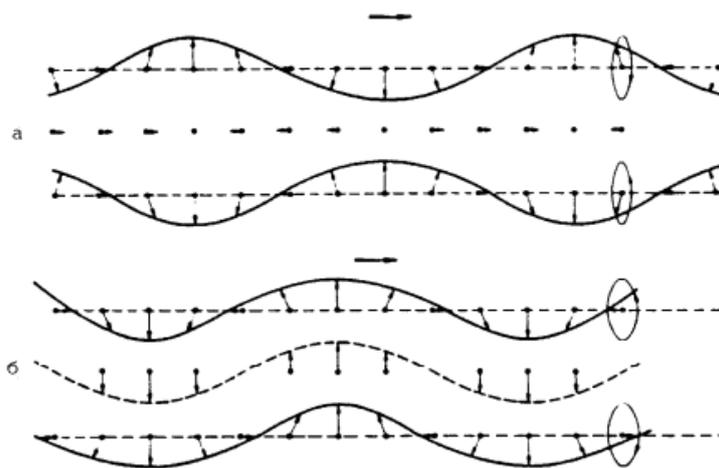


Рисунок 2.7 – Волны в пластинах, где а – симметричная, б – ассиметричная волна.

Акустические волны ультразвукового диапазона обладают свойствами отражения от границы твердое тело – воздух. Расчеты показывают, что слои воздуха толщиной 10^{-5} мм, и более при $f = 5$ МГц происходит 100% отражения посланной энергии. Благодаря этому свойству УЗ – колебания эффективно отражаются от трещин, воздушных полостей и т.д, что дает возможность их легко обнаружить.

Также наиболее широкое применение, среди остальных методов контроля, имеет ультразвуковая толщинометрия.

Ультразвуковая толщинометрия – основной метод, применяемый с целью оценки фактического значения толщины стенок элементов, конструкций способом однократных измерений в местах, труднодоступных для измерения толщины механическими измерительными инструментами.

Наиболее часто используемые приборы – ультразвуковые толщиномеры, которые измеряют время прохождения ультразвукового импульса от излучателя до противоположной поверхности объекта контроля не требует доступ к противоположной поверхности объекта контроля. Благодаря этому, если противоположная поверхность объекта контроля является труднодоступной или недоступной, необходимость разрезать объект контроля (что требуется при использовании микрометра или штангенциркуля) отсутствует. С помощью ультразвуковых толщиномеров может быть измерена толщина изделий из большинства конструкционных материалов, таких как металлы, композиты, пластики, керамика, эпоксидная смола и стекло, а также толщина слоя жидкости или биологических образцов.

Так как ультразвук плохо распространяется в воздухе, между преобразователем и поверхностью объекта контроля наносится небольшое количество контактной жидкости. Обычно в роли контактной жидкости выступает глицерин, пропиленгликоль, вода или масло. Ультразвуковой импульс, излучаемый преобразователем, проникает в объект контроля, проходит до противоположной поверхности, отражается от нее и попадает обратно на преобразователь. Подобно эхолоту, толщиномер точно измеряет временной интервал между отправкой зондирующего импульса и получением отраженного эхосигнала, составляющий обычно несколько микросекунд. Для проведения измерений может потребоваться настройка параметра, называемого сдвигом нуля, необходимая для компенсации времени аппаратной задержки импульса в самом толщиномере и преобразователе. Полученный временной интервал толщиномер делит на два, получая время прохождения ультразвука в одну сторону. Это значение умножается на скорость распространения ультразвука в данном материале. Таким образом рассчитывается толщина объекта контроля.

3. Экспериментальное исследование образцов с различной остаточной толщиной

3.1 Описание стенда для широкого выбран виде экспериментальных исследований

В состав экспериментального стенда входит:

- Ультразвуковой толщиномер УТ-93П
- Участок магистрального трубопровода
- Контактная жидкость
- Средства юистики поверхности трубопровода

Ультразвуковой толщиномер

Ультразвуковой толщиномер УТ-93П предназначен для измерения толщины изделий из конструкционных металлических сплавов, при одностороннем доступе к ним (рисунке 3.1). В толщиномере используется контактный способ обеспечения контакта, путем прижатия контактной поверхности ультразвукового преобразователя к поверхности объекта контроля.



Рисунок 3.1 – ультразвуковой толщиномер УТ-93П.

При измерении толщины изделий из конструкционных металлических сплавов с затуханием ультразвуковых колебаний на частоте 2,5 МГц со скоростями распространения продольных УЗК в диапазоне от 3000 до 6400 м/с толщиномер должен сохранять работоспособность. [8]

Принцип работы толщиномера основан на ультразвуковом импульсном эхо-методе измерения, который использует свойства ультразвуковых колебаний (УЗК) отражаться от границы раздела сред с разными акустическими сопротивлениями.

Передающая пластина ультразвукового преобразователя раздельно-совмещенного типа излучает импульс УЗК через линию задержки (призму) в направлении наружной поверхности изделия, толщину которого надо измерить. Импульс УЗК распространяется в изделии до внутренней поверхности, отражается от нее, распространяется в направлении наружной поверхности, и, пройдя линию задержки (призму) принимается приемной пластиной. [9]

Время распространения УЗК от одной грани изделия до другой и обратно связано с толщиной изделия зависимостью:

$$d = \frac{c * t}{2}$$

где d – толщина изделия,

c – скорость изменения УЗК в материале изделия,

t – время распространения УЗК от одной грани до другой и обратно.

Участок магистрального трубопровода

Объектом контроля является участок магистрального трубопровода из стали диаметром $d = 1020$ мм и толщиной стенки $h = 10$ мм.

Контактная жидкость.

Для создания акустического контакта между преобразователем дефектоскопа и контролируемым изделием в качестве контактных жидкостей при ультразвуковом контроле контактным способом используются различные жидкости и вязкие вещества: вода, смесь карбоксиметилцеллюлозы с водой трансформаторное и машинное масла, глицерин и другие вещества. В ходе исследования было использовано машинное масло, т.к. является дешевым и доступным продуктом.

Средства очистки.

Перед началом ультразвукового контроля зачищают поверхность объекта контроля удаляя брызги металла, загрязнения и остатки шлака. Зачистку выполняют ручной шлифовальной машинкой, а при необходимости еще и напильником или наждачной шкуркой.

Требования к зачистке:

Необходимо нанести разметку на объект контроля, точки измерения должны быть пронумерованы в соответствии со схемой, указанной в чертежно-технической документации. Разметку следует выполнять так, чтобы она не мешала измерению и не стиралась во время измерения. Например, разметка может быть сделана с помощью маркировочного фломастера. [10]

Для толщинометрии основного металла подготавливается площадка 30×30 мм с центром в точке измерения. Для толщинометрии антикоррозионной наплавки готовят площадку 50×50 мм. Подготовленная площадка должна быть очищена от загрязнений, отслаивающейся окалины и краски. Шероховатость

поверхности изделия со стороны ввода УЗ колебаний должна быть не более $R_a=6,3$ мкм по ГОСТ 2789.

Разрешается проводить измерения по поверхности, покрытой плотной пленкой окиси или тонким ровным слоем краски. Возможность выполнения толщинометрии и точностные характеристики измерения в этих условиях должны быть предварительно установлены экспериментально проверкой специалистами по контролю. В частных случаях выполняется контроль по поверхности без предварительной обработки, однако точностные характеристики при этом ухудшаются. [11]

Возможно проводить измерения сосудов и трубопроводов, наполненных водой или другой жидкостью.

3.2 Методика проведения эксперимента

Для определения соответствия толщины стенки трубы заданным требованиям применяют эхо-импульсный метод, используя одно- или многократно отраженные ультразвуковые импульсы, излучаемые перпендикулярно к поверхности трубы. Во время испытаний труба и (или) ультразвуковой преобразователь должны двигаться относительно друг друга так, чтобы поверхность трубы сканировалась по эквидистантным спиральным линиям вдоль всей длины трубы при шаге не более 150 мм. Максимальный размер каждого применяемого ультразвукового преобразователя, измеряемый параллельно оси трубы, не должен быть более 25 мм. Ультразвуковая установка должна обеспечивать разбраковку труб (годные и дефектные) посредством автоматического срабатывания на установленное значение браковочного уровня в сочетании с системой маркировки и (или) сортировки. [12]

При измерении толщины на участках зачистки поверхностных дефектов в месте максимальной глубины выборки для установления ПЭП должна быть подготовлена плоская площадка $\Phi 15$ мм, параллельная поверхности изделия.

В некоторых случаях измерение может быть выполнено со стороны, противоположной выборке.

Если выборка имеет крутой профиль и обеспечить плоскую площадку для установки пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) не представляется возможным, следует измерить толщину в точках вокруг выборки. Глубину выборки измеряют микрометрическим либо индикаторным глубиномером. Толщину изделия в месте выборки находят, как разницу между минимальной его толщиной в окрестности выборки по данным измерений ультразвуковым методом (УЗ) методом и максимальной глубиной выборки по результатам измерения глубиномером. Погрешность этого измерения принимается равной погрешности измерения УЗ прибором. [13]

Существуют три вида задач при измерении толщины, которым соответствует три группы приборов:

- I. *Ручной контроль изделий с гладкими параллельными поверхностями.*
- II. *Ручной контроль изделий с грубыми параллельными поверхностями, например, изделий, внутренняя поверхность которых поражена коррозией.*
- III. *Автоматический контроль в потоке (обычно трубного проката).*

Для задач I и III необходима точность измерения. При решении задачи II требования к точности снижены, но нужна высокая чувствительность, чтобы зафиксировать рассеянное отражение от неровной противоположной поверхности. Главная трудность – в снижении минимальной измеряемой толщины, которая определяется мертвой зоной. Поэтому в толщинометрии применяют РС-преобразователи. Для приборов группы I и III минимальная измеряемая толщина составляет 0,1 . . . 0,5 мм, а приборах группы II – 0,5 . . . 1,0 мм. Мертвая зона зависит от частоты и размеров преобразователя: чем выше частота и чем меньше размеры преобразователя, тем меньше мертвая зона. Максимальная толщина контролируемых изделий физическими

причинами не ограничивается, кроме большого затухания ультразвука в некоторых материалах (чугуны, высоколегированные стали, полимеры и др.). Обычно она составляет 200 . . . 1000 мм. Ограничивающими факторами также являются большая неровность поверхностей контролируемого изделия, их непараллельность и кривизна поверхности ввода. В некоторых современных толщиномерах для снижения юшибки измерения, указанными причинами, имеется возможность переключения частоты измерения. [14] Обычно показания усредняются по 4 измерениям в секунду, но можно провести измерение (особенно в условиях высоких температур) на повышенной частоте – 20 измерений в секунду. Следует также помнить, что точность измерения сильно зависит от состояния контактной и донной (отражающей) поверхностей изделия, толщины и вязкости контактной жидкости. Другое важное требование при настройке толщиномера – контрольный образец должен иметь ту же шероховатость поверхности, что и изделие, и при контроле должна использоваться та же контактная жидкость. Используются специальные контактные жидкости, основное требование к которым – коррозионостойкость к материалу призмы преобразователя и сохранение требуемой вязкости при изменении температуры изделия. При измерении толщины на крутоизогнутых поверхностях, например на трубном прокате, РС-преобразователями его рабочая поверхность должна располагаться так, чтобы акустический барьер был поперек продольной оси трубы. На заводах нефтяной, химической и других отраслях промышленности ультразвуковой метод исследования является самым востребованным. [15] Ультразвуковой метод применяют для измерения толщины плакирующего слоя биметаллов, штампованных днищ, изделий сложной конфигурации, например блоков компрессоров и т.д. Часто возникает необходимость измерить отдельные детали, подверженные износу вследствие технологического процесса. Конструктивные особенности многих таких деталей не позволяют измерить их обычными способами, поскольку, зачастую, доступ к внутренней стороне изделия затруднен или невозможен. Бывает

необходимо определить размеры деталей без их демонтажа из узлов оборудования (шпильки, фланцы, оболочки аппаратов и др.). В этих случаях эффективным методом контроля является **ультразвуковая толщинометрия**. **Ультразвуковой толщиномер УТ-93П** позволяет с высокой точностью измерить толщину объекта без каких-либо разрушений.

Ультразвуковой метод неразрушающего контроля применяют для контроля металла, полиэтилена, бетона, сварных соединений, литых заготовок и стального литья, теплотрасс, водопроводов, газопроводов, качества котлов, сварных стыков рельс, труб, поковок и др. Ультразвуковой контроль труб и трубопроводов является эффективным неразрушающим методом контроля качества трубопроводов, диагностики дефектов труб, водопроводов и теплотрасс без вывода их из эксплуатации. Своевременное и плановое устранение разрушающихся участков трубопроводов позволит сэкономить на ремонте в чрезвычайных обстоятельствах. Ультразвуковые толщиномеры измеряют время прохождения импульса от излучателя до противоположной поверхности объекта контроля и обратно к преобразователю. Для проведения таких измерений доступ к противоположной поверхности объекта контроля не требуется. Благодаря этому, если противоположная поверхность объекта контроля является труднодоступной или полностью недоступной, необходимость разрезать объект контроля, что требуется при использовании микрометра или штангенциркуля, отсутствует. [16]

Подготовка толщиномера УТ-93П к контролю начинается с выбора наиболее подходящего преобразователя. Возбуждение и прием упругих волн осуществляется путем преобразования электрических колебаний в акустические, а затем обратно акустических в электрические с помощью специальных устройств – пьезоэлектрических преобразователей, имеющих чувствительный элемент – пьезопластину. В комплект прибора толщиномера входит 6...8 РС-преобразователей для контроля изделий в различных диапазонах толщин (от 0,6...10,0 мм до 1...1000 мм), с различной

шероховатостью и кривизной поверхности (минимальный радиус кривизны 3,0; 5,0 и 10,0 мм для различных преобразователей). Затем настраивали измерительный узел толщиномера – наиболее точный способ настройки – по двум образцам, изготовленным из материала изделия и соответствующие минимальной и максимальной измеряемой толщине.

Настройку «нуля преобразователя» провели на *тонком образце, а настройку по скорости звука – на толстом*. Данные настройки повторяют до тех пор, пока на цифровом индикаторе не появятся точные значения толщины образцов. Настраивать измерительный узел можно также по прилагаемым к прибору образцам, после чего выполняют настройку на скорость звука на участке изделия, доступном для измерения механическими измерительными средствами, или на образце из материала изделия. Оперативную проверку толщиномера после настройки на скорость звука по двум образцам проводили путем измерения толщин набора образцов, прилагаемых к прибору или специально изготовленных и проверенных.

Кривизна, шероховатости и не параллельности поверхностей изделий влияют на возможность и точность измерения толщины. Перед началом и в процессе контроля настроенный толщиномер проверяют по краю изделия или образцу, имеющему кривизну и шероховатость поверхностей, соответствующих изделию. [17]

Прижимая преобразователь последовательно к точкам изделия, указанным в методическом документе по контролю и считывая показания прибора, выполняли *ручной контроль изделий*. При необходимости эти точки зачищали и смазывали контактной жидкостью, в нашем случае это было масло. Появление точки справа на индикаторе указывает на то, что акустический контакт преобразователя с изделием достигнут.

В процессе эксплуатации трубопровода уменьшение толщины стенок одинаково вероятно в любом месте. Поэтому делая контроль сосуда давления или трубопровода, преобразователь прижимают к точкам поверхности объекта

через заданные интервалы по предварительно составленной сетке. На выпуклой поверхности сгиба труб или вблизи сварных швов, где утонение наиболее вероятно, следует обязательно измерять толщину, при этом для получения верных данных, максимальная шероховатость измеряемой поверхности ультразвуковым толщиномером не должна превышать 40 Rz . [18]

При регистрации результатов замеров указывают номер точки или координаты, где проводилось измерение, и полученное значение толщины. Если измерения превышают допустимые пределы, их отмечают.

Заключение о проведенном исследовании объекта приведено в Приложении 1.

2. Для контроля толщины стенки магистрального трубопровода разработана технологическая карта ультразвуковой толщинометрии, регламентирующая последовательность операций контроля. Для трубопровода 1020мм и толщиной стенки 10 мм разработана технологическая карта и приведена в приложении 2.

Вывод

С учетом основных методических вопросов и с использованием разработанной технологической картой были проведены измерения в 10 точках образца трубы 1020x10 мм. Результаты измерений приведены в таблице 2. Анализ результатов показал, что на вырезанном участке трубы не имеется недопустимых значений толщины стенки.

Разработанная методика и технологическая карта может применяться для трубопроводов других диаметров и толщин стенок.

3.3 Регистрация результатов контроля

В данной работе для автоматизации процессов анализа и фиксации контроля использовалась компьютерная система разметки участков контроля, построения чертежа контролируемого участка трубопровода с нанесением зон контроля.

Для автоматизации процессов разметки трубопровода и выделения зон контроля использовалась система КОМПАС-3D.

Система КОМПАС-3D предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Параметрическая технология позволяет быстро получать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа. КОМПАС-3D базируется на оригинальном ядре, разработанном АСКОН. Система позволяет:

- быстро сгенерировать комплекты конструкторской и технологической документации, необходимые для выпуска изделий (сборочные чертежи, спецификации, деталировки и т.д.)
- передать геометрию изделий во внешние расчетные пакеты
- передать геометрии в пакеты разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ
- создать дополнительные изображения изделий (например, для составления каталогов создания иллюстраций к технической документации и т.д.)
- импортировать или экспортировать модели

Моделирование изделий в Компас -3D можно вести как: «снизу вверх» (используя готовые компоненты), так и «сверху вниз» (проектируя компоненты в контексте конструкции), опираясь на компоновочный эскиз (например,

кинематическую схему), либо смешанным способом. Благодаря такому подходу обеспечивается легкая модификация получаемых моделей. Система обладает функционалом, ставшим типовым для САПР среднего уровня:

- булевы операции над типовыми формообразующими элементами,
- создание поверхностей,
- ассоциативное задание параметров элементов,
- построение вспомогательных прямых и плоскостей, эскизов, пространственных кривых (ломаных, сплайнов, различных спиралей),
- создание конструктивных элементов — фасок, скруглений, отверстий, ребер жесткости, тонкостенных оболочек,
- специальные возможности, облегчающие построение литейных форм — литейные уклоны, линии разъема, полости по форме детали (в том числе с заданием усадки),
- функционал для моделирования деталей из листового материала — команды создания листового тела, сгибов, отверстий, жалюзи, буртиков, штамповок и вырезов в листовом теле, замыкания углов, а также выполнения развертки полученного листового тела (в том числе формирования ассоциативного чертежа развертки),
- создание любых массивов формообразующих элементов и компонентов сборок,
- вставка в модель стандартных изделий из библиотеки, формирование пользовательских библиотек моделей,
- моделирование компонентов в контексте сборки, взаимное определение деталей в составе сборки,
- наложение сопряжений на компоненты сборки (при этом возможность автоматического наложения сопряжений существенно повышает скорость создания сборки),
- обнаружение взаимопроникновения деталей,

- специальные средства для упрощения работы с большими сборками,
- возможность гибкого редактирования деталей и сборок, в том числе с помощью характерных точек,
- переопределение параметров любого элемента на любом этапе проектирования, вызывающее перестроение всей модели.
- возможность создания таблиц переменных в моделях и графических документах.

Система проектирования **Компас** легка для изучения, особенно конструкторами без опыта работы в 3D. Благодаря наличию обширных библиотек стандартизированных по ГОСТ элементов инженеру конструктору не приходится тот или иной элемент для чертежа. Данная Система является отечественной разработкой и не имеет проблем с локализацией. Удобно оформлять чертежи в соответствии с нормами ЕСКД. Имеются инструменты трассировки трубопроводов, кабелей и жгутов, есть модуль проектирования электрических цепей. А также имея возможности параметризации, продуманный модуль 2D черчения, имея возможность проектирования деталей, гнутых из листового металла и низкую себестоимость дает огромное преимущество перед своими аналогами.

При визуальном осмотре выявляются наружные дефекты основного металла труб (коррозионные повреждения, царапины, задиры, трещины, прологи, оплавления, вырывы, расслоения, металлические включения, закаты и прочие).

Определение фактической толщины стенки труб производится толщиномерами, позволяющими измерять толщину в интервале 0,2-50,0 мм с точностью 0,1 мм при температуре окружающего воздуха от -10° до +40 °С.

Объем работ по измерениям толщин устанавливается на основании результатов внешнего осмотра в зависимости от длительности эксплуатации. В каждом сечении измерения проводятся не менее чем в четырех точках

(через 90 градусов). Во всех случаях измерения проводятся в местах, наиболее пораженных коррозией.

Выборочный ультразвуковой контроль производится в местах повышенного коррозионного износа и других дефектов, выявленных при визуальном осмотре, с целью выявления расслоений, трещин и других дефектов типа несложностей основного металла.

Магнитопорошковая и цветная дефектоскопия основного металла труб производится с целью выявления поверхностных трещин и других дефектов.

Все вышеописанные этапы схематично отображаются на чертеже. Пример такого чертежа показан на рисунке 3.2.

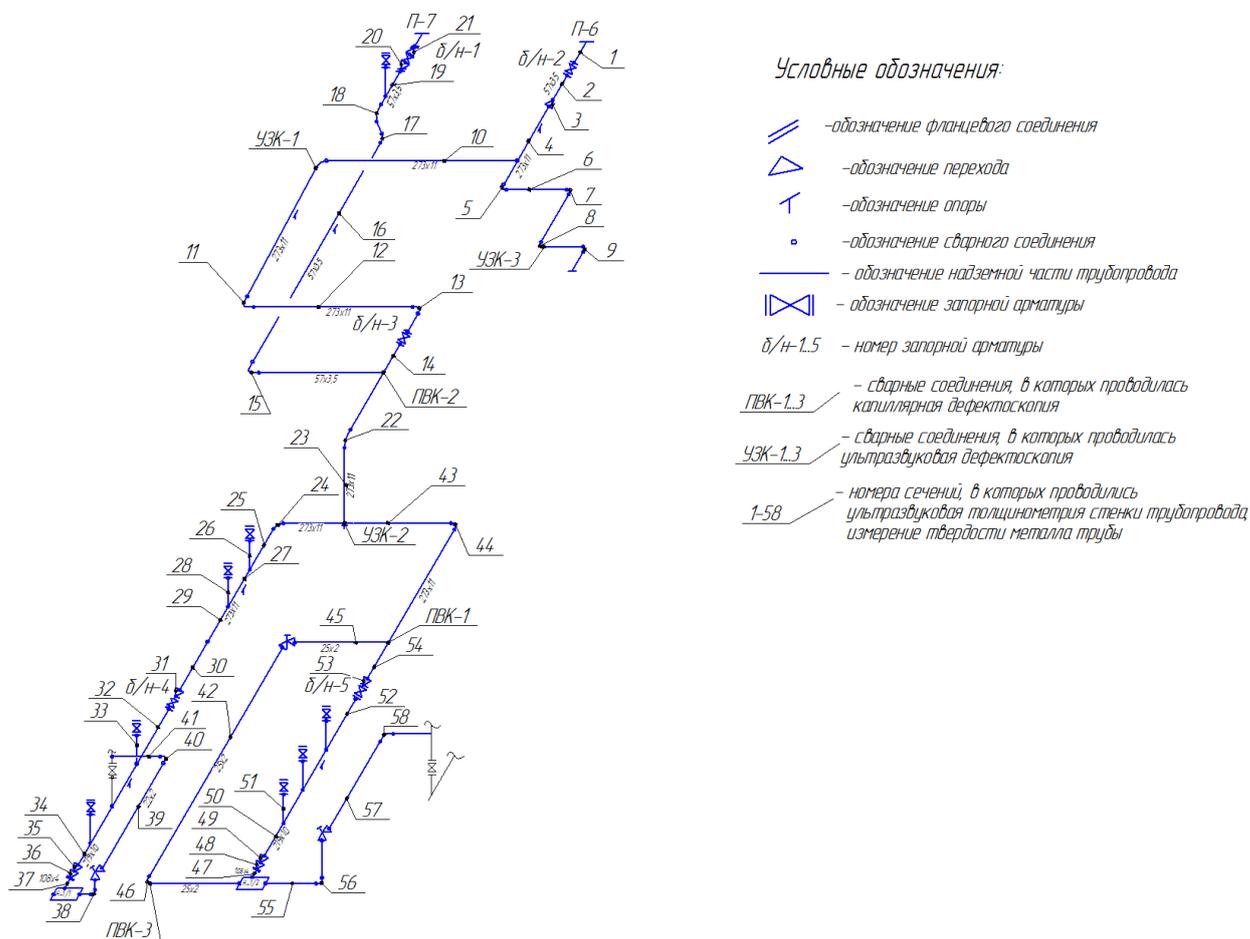


Рисунок 3.2 – Участок магистрального трубопровода

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведено измерение остаточной толщины участка магистрального трубопровода в 10 точках, материал трубы – Сталь3.

2. Наиболее подходящим методом для измерения остаточной толщины магистрального трубопровода является ультразвуковой метод неразрушающего контроля, в связи с этим был выбран прибор – УТ-93П (ультразвуковой толщиномер).

3. По результатам исследования было определено, что исследуемый объект имеет допустимые значения исследуемого параметра – остаточной толщины, объект пригоден для дальнейшей эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник. / В.В. Ключев, Ф.Р. Соснин, В.Н. Филинов и др. Под ред. В.В. Ключева. М.: Машиностроение, 1995, 488 с.
2. Тихомиров, Ю. Программирование трехмерной графики / Ю. Тихомиров. — СПб: ВHV — Санкт-Петербург, 2008. — 256 с.
3. Ратнер, П. Трехмерное моделирование и анимация человека / П. Ратнер. — М.: Вильямс, 2005. — 272 с
4. Ермолов, И. Ультразвуковой контроль/ И. Ермолов, Ю.Ланге — Машиностроение,2004. — 860с
5. ОСТ 153-39.4-010-2002. Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений
6. Харионовский В.В. Диагностика и ресурс газопроводов: состояние и перспективы. // Газовая промышленность: Газоил пресс. 1995. № 11. С. 28-30.
7. Акустические методы контроля и диагностики. Часть 1: Учебное пособие / Б.И. Капранов, М.М. Коротков – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 186с.
8. Ермолов, И. Ультразвуковой контроль/ И. Ермолов, Ю.Ланге — Машиностроение,2008. — 865с
9. Химченко Н.В., Неразрушающий контроль в химическом и нефтяном машиностроении, 1976 — 264с
10. ПНАЭ Г-7-031-91. Унифицированные методики контроля основных материалов (полуфабрикатов), сварных соединений и наплавки оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Ультразвуковой контроль. Часть III. Измерение толщины монометаллов, биметаллов и антикоррозионных покрытий
11. Яцун Михаил Андреевич. Разработка теории экранированных вихретоковых преобразователей и их применение для контроля труб нефтяного сортамента : ил РГБ ОД 71:85-5/3

12. ГОСТ 11358-89 Толщиномеры и стенкомеры индикаторные с ценой деления 0,01 и 0,1мм. Технические условия.- Взамен ГОСТ 11358-74, 11951-82 ; введ. 24.01.89. - М. : Изд-во стандартов, 1986. - 11 с. - Изм. № 1 ИУС 1-91. Снято ограничение срока действия ИС 11-95.
13. ГОСТ 28702-90(СТ СЭВ 6791-89) Контроль неразрушающий. Толщиномеры ультразвуковые. Общие технические требования. - Взамен ГОСТ 4.177-85 (в части акустических толщиномеров) ; введ. с 1992-01-01.- 20 с.
14. Гладштейн В.И. Сравнительная оценка запаса по толщине стенки с учетом начальных дефектов в элементах паропроводов / В.И. Гладштейн // Теплоэнергетика. - 2011. - № 2. - С. 2 - 7.
15. Алехин С.Г., Бобров В.Т., Дурейко А.В., Козлов В.Н., Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г. «Ультразвуковой способ измерения толщины изделия» Патент РФ на изобретение №2442106 Бюл., изобр., 2012, №4.
16. ГОСТ 8.495-83. ГСИ. Толщиномеры ультразвуковые контактные. Методы и средства поверки.
17. Ганзин М П. Поверка и калибровка ультразвуковых импульсных толщинометров методом электронного моделирования мер толщины. Измерительная техника, 1975, №10, с. 30-32.
18. Юнникова В.В. Комплект мер для поверки ультразвуковых контактных толщинометров в диапазоне толщин 0,5-50 мм. -, Москва, ВНИИ-КИ, 1974, ИЛ №96
19. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы.
21. ГОСТ 12.1.003-83. Шум. Общие требования безопасности.-введ. 01.07.84.

22. ГОСТ 23941-2002. Шум машин. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования. – введ. 02.03.02.- М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 7 с.
23. СП 2.2.2.1327-03. Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. – введ. 25.06.03.
24. ГОСТ 12.1.019-79. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – введ.
25. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. – введ. 01.07.92. – М.: Стандартиформ, 2006. – 64 с.
26. ГОСТ 12.4.009-83. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание. – введ. 01.01.85. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006. – 5 с.
27. Федеральный закон от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».
28. ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).-74,2 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Заключение № ____
 от «__» _____ 20__ г.
 по ультразвуковой толщинометрии

Оборудование и материал	Номер точки измерения	Номинальная толщина стенки (мм)	Толщина стенки по результатам измерений	ЗАКЛЮЧЕНИЕ
Труба Ø1020x10, Сталь-3	1	10	9,9	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	2	10	9,9	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	3	10	9,9	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	4	10	9,9	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	5	10	10,0	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	6	10	9,9	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	7	10	10,0	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	8	10	10,0	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	9	10	9,9	Допустимо к эксплуатации
Труба Ø 1020x10, Сталь-3	10	10	10,0	Допустимо к эксплуатации

Контроль (измерения) произвел Рубаненко Сергей -

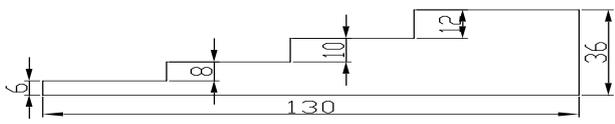
ФИО

Подпись

Дата

Технологическая карта исследования

ОАО «XXXXXX»		Лист 2 Листов 4
Технологическая карта ультразвуковой толщинометрии № 01/11УЗТ		

1 Объект контроля - пенал для хранения ОЯТ			
1.1 Контролируемое оборудование	Магистральный трубопровод		
1.2 Предприятие – изготовитель			
1.3 Чертеж			
1.4 Контролируемый элемент			
1.5 Сертификат изготовителя			
1.6 Материал	Сталь 3		
1.7 Контроль	Ультразвуковой		
2 Документация, по которой проводится контроль			
2.1 Методическая			
2.2 Нормативная			
3. Требования к технологии контроля и оценке качества			
3.1 Объем контроля			
3.2 Точность проточки			
4 Тип и размеры контролируемого объекта			
4.1 Размеры (длина×ширина×толщина), мм:	400*400		
5 Средства контроля			
5.1 Толщиномер	УТ – 93П		
5.2 Преобразователь	Приз –Т1		
5.3 Стандартный образец предприятия			
5.4 Эскиз СОП			
5.5 Материал СОП		Шероховатость поверхности	Rz = 40 мкм
5.7 Габаритные размеры СОП (длина×ширина), мм	10*10		
5.8 Контактная жидкость	Машинное масло		

Карту разработал		Карту проверил	
_____	/ _____ /	_____	/ _____ /
(подпись, дата)		(подпись, дата)	

ОАО «XXXXXX»		
	Технологическая карта ультразвуковой толщинометрии № 01/11УЗТ	Лист 3 Листов 4

6 Подготовка к контролю	
6.1 Проверка качества зачистки основного металла объекта контроля	подготавливаемая поверхность должна быть свободна от загрязнений, отслаивающейся окалины или краски. <u>Шероховатость поверхности</u> $\leq Ra=6.3$ мкм
6.2 Разметка объекта контроля	<p>провести разметку и нумерацию точек для измерения толщины согласно схемы. Точка измерения – в центре площадки</p> <div style="text-align: center;"> </div>
6.4 Настройка толщиномера	

7 Условия и порядок проведения контроля	
7.1 Условия проведения контроля:	<ul style="list-style-type: none"> - на месте производства работ, - при температуре окружающего воздуха и контролируемой поверхности от 5° до 40°С, - источники яркого света, расположенные на расстоянии < 10м, должны быть ограждены
7.2 Измерения толщины	преобразователь последовательно устанавливать в точки измерений согласно схемы разметки и в этих точках производить измерение толщины
8 Оценка качества	
8.1 Качество листового проката считается удовлетворительным, если измеренная толщина металла находится в пределах допуска:	
Предельное отклонение по толщине проката	
Толщина проката, мм	Нормальная точность прокатки
8.2. Результаты оценки допустимости по п.п. 8.1 и выводы о качестве контролируемого элемента занести в рабочий журнал.	

Карту разработал		Карту проверил	
/_____/		/_____/	
(подпись, дата)		(подпись, дата)	