

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

Институт Электронного обучения
Направление подготовки Приборостроение
Кафедра ФМПК

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка устройства для измерения толщин изделий из металлических сплавов

УДК 681.2:531.717.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б11	Минниханов Руслан Галиханович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Вавилова Галина Васильевна	-----		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Суржиков Анатолий Петрович	д.ф.м.н.		

Томск 2016

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	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 (ОК-14, ПК-1,6,7,8,10,11.12,13,17,23, 24,27), Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	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-5, ПК-14,15,19,20,21,28,29,30,33) Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	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-6, ПК-5,18,31,32), Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	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-1,2,8,11,12, ПК-2,9), Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	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 (ПК-3,4,9,16,22,26), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	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 (ПК-33), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	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>
P8	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-28), 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	Требования ФГОС (ОК-13), Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	документацию, презентовать и защищать результаты инженерной деятельности	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-4,14,15, ПК-8) 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-9), 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»**

Институт Электронного обучения
Направление подготовки (специальность) Приборостроение
Кафедра ФМПК

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(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
3-1Б11	Минниханов Руслан Галханович

Тема работы:

Разработка устройства для измерения толщин изделий из металлических сплавов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

08.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

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

Ультразвуковой толщиномер
производительность - периодическая, прибор
состоящий из блоков для воспроизведения
цифро-аналогово и аналогово-цифрового
преобразования. Безопасен для персонала и
окружающей среды. Прибор используется в
различных сферах и приносит положительный
экономический эффект.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор неразрушающих методов контроля для измерения толщин трубы из металлических сплавов и их покрытий, методы - электрический, тепловой, радиоволновой, радиационный, акустический, магнитный, вихретоковой, Выбор наилучший метод контроля, разработка структурной схемы прибора, схемы преобразователя, модернизация функции записи измеренных толщин, с последующий определением среднего значения толщины изделия и получения результатов по наименьшей толщины изделия.</p>
--	--

<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>-----</p>
--	--------------

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна

<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>
--

<p>Заключение</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>15.09.2015</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель каф. ФМПК	Вавилова Галина Васильевна	-----		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б11	Миннханов Руслан Галиханович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _____ 84 _____ с., _____ 15 _____ рис., _____ 17 _____ табл.,
_____ 22 _____ источников, _____ 5 _____ прил.

Ключевые слова: Неразрушающий контроль, акустический, ультразвуковой, преобразователь, труба, толщина стенки, методы контроля.

Объектом исследования является Труба металлическая бесшовная для нефтегазопровода.

Цель работы – Разработка средства измерения толщин изделий из металлических сплавов.

В процессе исследования проводились Обзор методов для измерения толщин металлов и их покрытия. Выбор наиболее подходящего метода для разработки толщиномера.

В результате исследования Выбор наилучшего метода для измерения толщины изделия и его покрытия. Предложения по структурной схеме ультразвукового толщиномера и конструкции преобразователя

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Диапазон измерений 0,8 до 1000 мм, частотный диапазон 0,5 до 15 МГц, диапазон рабочих температур от -20 до +50.

Степень внедрения: разработка структурной схемы ультразвукового толщиномера, конструкции преобразователя. Предложения по модернизация системы обработки и представления результатов контроля.

Область применения: Неразрушающий контроль.

Экономическая эффективность/значимость работы позволит улучшить качество контроля нефтегазопровода, сократить временные ресурсы при проведении контроля.

В будущем планируется реализовать предложенную разработку.

Оглавление

Введение.....	17
1 Характеристика объекта контроля	18
2 Анализ методов и средств контроля толщины изделий.....	21
2.1 Электрический метод	14
2.2 Тепловой метод.....	16
2.3 Радиоволновой метод.....	18
2.4 Радиационный метод.....	20
2.5 Акустический метод.....	23
2.6 Магнитный метод.....	27
2.7 Вихретоковой метод.....	31
3 Постановка задачи дипломного проекта	43
3.1 Технические параметры разрабатываемого толщиномера.....	35
4 Теоретические основы ультразвукового импульсного эхо-еотода контроля.....	45
5 Структурная схема устройства контроля	40
6 Разработка схемы преобразователя.....	42
7 Описание конструкции преобразователя.....	47
8 Метрологическое обеспечение средств контроля	50
9 Социальная ответственность	51
9.1. Анализ вредных и опасных факторов, ... Ошибка! Закладка не определена.	
9.2 Экологическая безопасность:..... Ошибка! Закладка не определена.	
9.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	57
9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	59
10 Техничко – экономическое обоснование НИР	60
10.1 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	66
Заключение	72
Приложение А справочное сравнительные характеристики методов.....	74
Приложение Б справочное структурная схема.....	76
Приложение В справочное Схема преобразователя.....	77

Приложение В1 справочное Спецификация преобразователя.....	78
Приложение Г справочное Схема принципиальная микропроцессорного блока.....	79
Приложение Г1 справочное Схема принципиальная приемного тракта.....	80
Список использованных источников.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

На сегодняшний день предприятия работающие и использующие металлические трубные изделия, испытывают не малые трудности с их преждевременном износом и последующим ухудшениям рабочей способности.

Окружающая среда трубы с момента ее использования вносит свои коррективы. Сравнительно большая часть ущерба приходится от состава жидкости транспортирующей по трубе, отсутствие электрохимзащиты способствует сильному окислению и в последствие образования каверн и трещин.

Предприятия ХМАО Тюменской области такие как Транснефть, Сургутнефтегаз проводят входной контроль трубных изделий с помощью специалистов неразрушающего контроля.

Основным методами контроля являются визуальный и ультразвуковой. При визуальном методе контроля специалист может выявить только наличие, поверхностных дефектов или дефекты выходящие на поверхность.

В свою очередь ультразвуковая толщинометрия берет на себя более сложный процесс, это измерению толщины стенки трубы и выявление расслоений металла.

Все эти действия и соблюдения выше перечисленных факторов позволят увеличить срок службы изделий, снизить себестоимость доставки энергоносителей потребителям, обеспечить безаварийную эксплуатацию и способствовать экономии потребляемого ресурса.

Далее мы проведем обзор методов неразрушающего контроля для измерения толщин изделия, в котором попытаемся выбрать наилучший метод для поставленной задачи.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ

В данном дипломном проекте необходимо разработать устройство для контроля толщины стальных бесшовных труб.

Объектом контроля является бесшовная труба нефтегазопроводного назначения с наружным диаметром от 57 до 426 мм, толщиной стенки от 5 до 28 мм и длиной до 10 м группа прочности (К48, К52) ТУ 14-3Р-91-2004 [1] технические данные приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1-Технические условия

Наименование нормативного технического документа	Размер труб		Марка стали	(Группа) Категория прочности
	Наружный диаметр в мм	Толщина стенки в мм		
ТУ-14-3Р-91-2004 Трубы стальные бесшовные горячедеформированная нефтегазопроводные повышенной стойкости против локальной коррозии и хладостойкие.	57-426	5,0-28,0	20КТ	К48; К52

Трубы предназначены для строительства и эксплуатации трубопроводов в климатических условиях и в условиях коррозионно-активных сред нефтедобывающих предприятий при температуре окружающей среды от минус 60°С до плюс 40 °С, при температуре транспортируемых сред от плюс 5°С до плюс 150°С.

Каждая труба по всей длине должна подвергаться дефектоскопии неразрушающему контролю сплошности металла для выявления продольных дефектов на наружной и внутренней поверхностях трубы.

Изготовитель гарантирует способность труб выдерживать соответствующее расчетное пробное гидравлическое давление на основании проведения 100 % неразрушающего дефектоскопического контроля труб.

Трубы выполнены из чистого сплава по содержанию вредных примесей (серы и фосфора) в металле, что определяет высокие прочностные,

пластические и коррозионные свойства, в таблице 1.2 приведен химический состав стали.

Таблица 1.2-Химический состав стали

Массовая доля элементов в стали, %, не более								
Углерод	Кремний	Марганец	Алюминий	Сера	Фосфор	Никель	Медь	Хр
				не более				
0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,80	0,01 - 0,05	0,012	0,015	0,30	0,30	0,25
Примечания: 1 Допускается легирование стали ниобием до 0,06 % и ванадием до 0,08 %, не превышающими в сумме массовой доли в 0,12 %. Фактические массовые доли элементов должны быть указаны в документе о качестве труб. 2 В металле труб допускаются отклонения массовой доли элементов в соответствии с ГОСТ 1050.								

Механические свойства проявляются при воздействии на материалы внешних сил. Эти свойства характеризуются деформациями материалов и изделий при действии сжимающих, растягивающих, изгибающих нагрузок.

К механическим свойствам материалов относятся твердость, ударная вязкость, упругость, пластичность, хрупкость.

Механические свойства проявляются в деформационно-прочностных характеристиках: пределе прочности, удлинении, сужении, усталостной прочности, твердости, в таблице 1.3 приведены характеристики материала изделия.

Таблица 1.3-Характеристики материала изделия

Марка стали	Плотность ρ , кг/м ³	Модуль упругости E, ГПа	Модуль сдвига G, ГПа
20КТ	7850	204	79

Данные трубы предназначены для строительства нефтегазопроводов, транспортирующих как обычные, так сероводородосодержащие и коррозионно-активные среды, для газлифтных систем, обустройства месторождений, в условиях Крайнего Севера.

Объемная термическая обработка труб (закалка + отпуск) обеспечивает высокие прочностные и вязкостные характеристики.

В процессе изготовления появляются такие дефекты, как расслоение, неравномерное распределение толщины металла по всей длине трубы из-за недоработки технологического процесса.

В процессе эксплуатации изменение толщины связано с коррозией, повышенным давлением и т.д.

2 АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ ТОЛЩИНЫ ИЗДЕЛИЙ

Для выбора метода контроля с помощью которого оптимально будет определяться толщина нам необходимо подробно рассмотреть известные методы размерного контроля, классифицировать их и рассмотреть устройства для реализации этих методов.

В дипломной работе мы разрабатываем прибор для измерения толщины изделия из металлических сплавов, но из перечисленных методов не многие могут справиться с этой задачей, в первую очередь это связано с физическими ограничениями и функциональными возможностями прибора.

Каждый из этих методов находит свое применение в той производственной части где он необходим, но все они предусматривают измерение толщины изделия и покрытия, но разных по структуре и материалу.

Существуют следующие виды неразрушающего контроля для измерения толщин изделия и их покрытия:

- электрический;
- тепловой;
- радиоволновой;
- радиационный;
- акустический
- магнитный;
- вихретоковый.

Рассмотрим каждый из вышеперечисленных видов.

2.1 Электрический метод

Связан на проникновении электрических полей в объект контроля - (ОК) и взаимодействие с объектом контроля. Обычно при этом виде неразрушающего контроля-(НК) контролируемый объект помещают в постоянное или переменное электрическое поле, создаваемое между электродами, контактирующими с электропроводящим ОК (электропотенциальный метод), либо между обкладками электрического конденсатора, диэлектриком которого служит ОК (электроемкостный метод). Электрическое поле в ОК может создаваться также путем электризации ОК трением (трибоэлектрический метод). Фиксируя во всех случаях параметры электрических полей в ОК либо параметры электрических цепей, включающих ОК или их части, можно судить о свойствах или состоянии ОК.

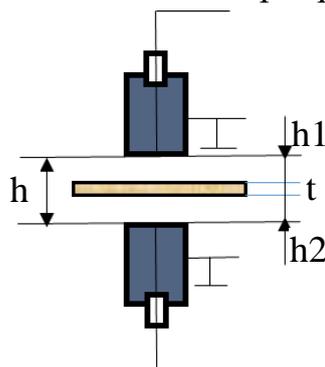
Для регистрации используют топографию электрического поля, например изменения эквипотенциальных поверхностей или линий, либо такой электрический параметр, как разность потенциалов между двумя точками, находящимися на фиксированном расстоянии одна от другой.

В качестве регистрируемых электрических параметров ОК используют электрическое сопротивление R , электрический ток i , электрическую емкость C , относительную диэлектрическую проницаемость ϵ_r , тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$, контактную термоэдс E_t .

Для измерения толщины проводящих и полупроводящих объектов используют накладные и проходные преобразователи.

На рисунке 2.1 показана схема измерения толщины t плоского проводящего объекта с помощью двух накладных преобразователей, установленных напротив друг друга на расстоянии h . Измеряя емкости C_1 и C_2 преобразователей, обратно пропорциональные зазорам h_1 и h_2 , и зная значение h , можно определить толщину ОК: $T=h-(h_1-h_2)$.

Рисунок 2.1 – Измерение толщины электропроводящего листа с помощью



накладных преобразователей.

Такой способ измерения использован в приборах для измерения толщины металлической фольги, кремниевых пластин для полупроводниковых приборов и др. Отсутствие контакта позволяет контролировать объекты с высокой чистотой поверхности, которая может быть повреждена при контактных измерениях, а также обеспечивает высокую производительность непрерывного контроля благодаря практически неограниченной скорости движения ОК в рабочем зазоре.

Проходные преобразователи применяют для измерения диаметра тонкой металлической проволоки, толщины металлических лент, а также диэлектрических нитей, волокон и пленок.

Если накладной преобразователь прижать к поверхности диэлектрического покрытия, нанесенного на электропроводящее основание, то очевидно, что с его помощью можно измерять толщину диэлектрических покрытий, например лакокрасочных, эмалевых, керамических на металлах и сплавах.

Емкостный метод эффективен для замера толщины покрытий диэлектрика на электропроводящих основаниях в тех случаях, когда толщина основания мала и применение вихретокового или магнитного контроля затруднительно из-за влияния толщины основания на результаты измерения. Такие задачи возникают при контроле толщины лаков или пластиков на поверхности упаковочных банок и тюбиков.

Характеристики метрологические емкостных толщиномеров выявляются типом и конструкцией преобразователей, схемой их включения и в меньшей степени — электронными блоками. На погрешность измерения влияют: состояние среды, окружающей преобразователь (влажность, давление, температура), кривизна, состояние поверхности ОК и влажность (диэлектрических ОК), смещения ОК между электродами проходных преобразователей и другие факторы. Ослабляя различными способами влияние мешающих факторов, можно добиться значительного снижения вызванных ими составляющих погрешности. Метрологическое обеспечение толщиномеров базируется на использовании аттестованных по толщине образцов из различных материалов.

2.2 Тепловые методы

Тепловые методы широко применяют для измерения параметров физических и геометрических величин контролируемого объекта, не применяя контактов и на удаленном расстоянии. Тепловой метод вызывает большой интерес, активно развиваемой области неразрушающего контроля, измерение температуры разного рода изделий бесконтактным методом

Толщинометрия тепловым методом происходит в тех моментах, если присутствует разность по коэффициенту или температуре теплового излучения между контролируемым объектом и окружающим фоном, либо присутствует разница между слитными частями контролируемого объекта по тепловым свойствам.

С помощью серийных одноточечных или сканирующих радиационных пирометров можно проводить измерение толщины покрытий теплоизоляции или защитных покрытий на металлических основаниях. Высоко эффективен и удобен контроль теплоизоляции в тех случаях когда по трубам протекает горячий теплоноситель. Измерение толщины покрытия зависимо по отношению к мощности теплового потока или источника тепла, при

стабильной тепло отдаче замеры толщины покрытия измеряются в диапазоне от 0,1мм до 0,2м и выше. Так же можно измерять малые толщины воздушных прослоек, расслоений, или тонких слоев плохо проводящих теплоту, между слоем теплоизолирующего материала и металлом. Например радиационным пирометром можно измерять, воздушную прослойку размером до 50 мкм.

Измерения толщины покрытий можно проводить как стационарном, так и динамическом режиме, но это приводит к усложнению и сам контроль и его процесс зависит от применения более сложной аппаратуры ввиду необходимости стробирования или изменений по времени.

Импедансный метод является одним из таких методов контролей. Импедансный метод имеет высокое преимущество: независимый контроль двух сильно и нелинейно влияющих факторов,

При одностороннем нагреве и фиксации температуры поверхности многослойного изделия можно измерять толщину гальванических покрытий из металлов. Такой контроль достаточно прост и очень эффективен.

Тепловыми методами контроля можно определять толщину огнеупорного слоя в мартеновских, стекловаренных, доменных и других печах. С помощью термовизора на каждый объект-печь, планоно составляется тепловой график, на котором видно распределение температуры по внешней поверхности печи. Своевременный анализ тепловых графиков помогает вовремя выявить критическое уменьшение толщины теплоизоляционного или конструкционного слоя печи и предотвратить аварийную ситуацию на рисунке 2.2.1 изображен тепловой контроль импедансным методом.

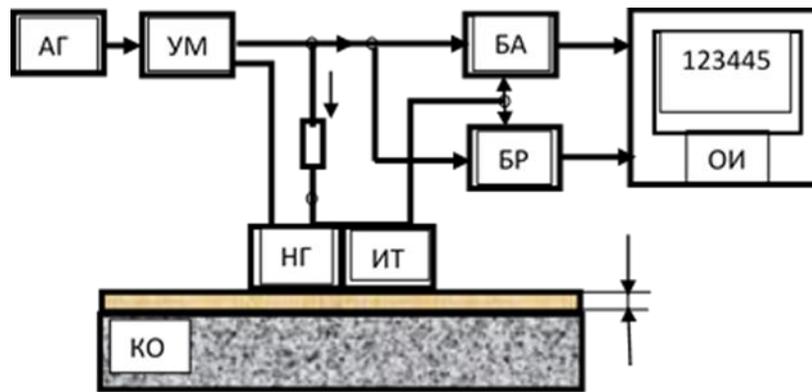


Рисунок 2.2.1 – Тепловой контроль импедансным методом

КО - контролируемый объект; НГ – нагреватель; АГ - автогенератор инфранизких частот; УМ - усилитель мощности; ИТ - измеритель температуры; ОИ - осциллографического индикатора; БА и БР - два блока амплитудно-фазового анализатора.

2.3 Радиоволновые методы

Радиоволновые методы используют для измерения толщины диэлектрических покрытий на металлической либо диэлектрической основе, толщины диэлектрических слоев, металлических листов и проката.

Для толщинометрии используют амплитудно-фазовый, фазовый, частотно-фазовый, геометрический, поляризационный и другие методы.

В амплитудно-фазовом методе используется функциональная связь между коэффициентом отражения от диэлектрического слоя и его толщиной. Как правило, реализуют относительное измерение модуля и аргумента коэффициента отражения с помощью высокочувствительных мостовых устройств.

Предельная относительная погрешность измерения толщины данным методом мала только при контроле весьма однородных диэлектриков и практически составляет 1 ... 3%.

Для устранения неоднозначности результатов измерений обусловленной видом градуировочной характеристики, при амплитудно-фазовом методе обычно применяют:

постоянное измерение числа отражения и подсчет максимумов (минимумов) полученной интерференционной кривой;

две волны различной длины для грубого и точного определения толщины;

фазовую модуляцию сигнала с целью выявления изменения линейного участка интерференционной кривой для идентификации выбранного рабочего участка.

Разновидностью амплитудно-фазового метода является импедансный метод СВЧ, применяемый в ряде приборов для контроля толщины или удельного сопротивления полупроводниковых эпитаксиальных и диффузионных слоев и структур. Входное сопротивление структур измеряется через фазу и амплитуду стоячей волны, причем контроль производится как однопараметровым, так и двухпараметровым способом с погрешностью (при контроле толщины), не превышающей $\approx 15\%$ на длине волны 7,5 мм. Контролю подвергается обычно не более двух слоев.

Геометрический метод относится к абсолютным методам и позволяет определить толщину тонких слоев близких от нуля до чисел, ограниченных мощностью излучения. Для слабо неоднородных диэлектрических сред контроль толщины геометрическим методом может быть осуществлен с погрешностью

2 до 3%. Существенно и то, что имеется возможность измерения толщины слоя при неизвестном показателе преломления.

Частотно-фазовый метод реализуется при периодическом во времени изменении частоты генератора СВЧ. При перестройке частоты генератора зависимость результирующего отраженного от плоского объекта, сигнала является осциллирующей, и искомая толщина:

$$d = N\Lambda c/n(f_2 - f_1),$$

(2.3.1)

где Λ — период осцилляции;

N — число периодов;

f_1, f_2 — крайние значения частоты перестройки; c — скорость света.

Частотно-фазовый метод позволяет измерять толщину диэлектрических сред способом на отражение в широком интервале толщин с погрешностью Δ до 6%.

Существуют и другие методы СВЧ-измерений параметров тонких металлических и диэлектрических пленок на подложках, например метод, основанный на зависимости тока генератора СВЧ от изменения параметров ОК.

Это так называемый автодинный эффект.

В наиболее распространенных методах толщинометрии выходной сигнал, используемый для градуировки индикаторного прибора в значениях толщины, представляет функцию двух переменных: толщины и диэлектрической проницаемости материала ОК. В этой связи целесообразно более подробно рассмотреть двухпараметровый многочастотный метод НК. Многочастотный метод заключается в измерении коэффициента отражения от поверхности ОК

(в общем случае многослойного) на ряде фиксированных частот, число которых равно или превышает число параметров, подлежащих контролю. Подставляя в формулы для коэффициента отражения его измеренные значения, получим систему нелинейных уравнений, где не известны исследуемые параметры — толщина измеряемых слоев и диэлектрическая проницаемость материалов. Эту систему можно решать численными методами.

Фазовый метод подходит для автоматизированного бесконтактного контроля толщины, полос, проката, металлических лент при двустороннем расположении датчика антенн, относительно ОК.

В этом случае смещения ОК между антеннами не влияют на результаты контроля. Применение рупорно-линзовых антенн уменьшает расходимость пучков, что обеспечивает высокую чувствительность и низкую погрешность

(около 1%) в диапазоне длин волн 3 до 10 см при поперечных перемещениях листа до $\lambda_0/6$.

2.4 Радиационные методы

Радиационные методы широко используют для бесконтактного автоматического контроля толщины листового проката в производстве путем регистрации прошедшего через материал излучения. Выбирая необходимые ускоряющее напряжение и ток рентгеновской трубки, с помощью рентгеновских толщиномеров можно контролировать, например, прокат стальной толщиной (0,002 до 25 мм), с погрешностью измерения 0,5% от верхнего значения диапазона измерений. Радиоактивные источники, в основном с β -активностью, используют для измерения толщины стальной полосы в диапазоне от нескольких микрометров до 0,8 мм, а источники с γ -активностью — для контроля горячего проката из стали толщиной 3,5 до 40 мм. Верхнее значение диапазона увеличивается при контроле толщины алюминиевого проката, при контроле проката из меди и похожие по составу уменьшается. На рисунке 2.4.1 показан метод компенсационного контроля.

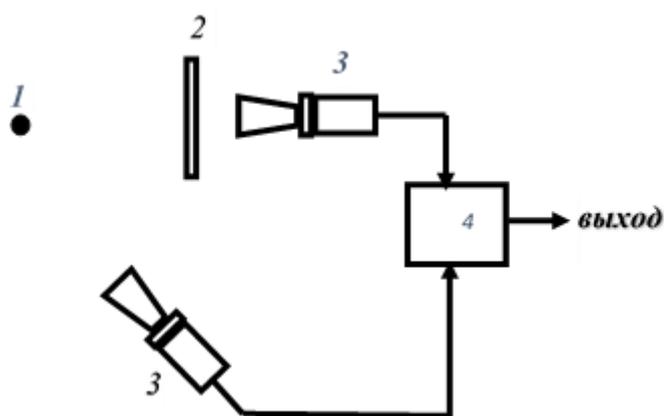


Рисунок 2.4.1 – Схема компенсационного контроля:

1- источник излучения; 2 – ОК; 3 – детекторы; 4 – схема сравнения.

Системы, основанные на регистрации прошедшего через ОК излучения, можно разделить на три группы: 1) прямого измерения параметров излучения — абсолютный метод; 2) сравнения параметров излучения в двух каналах путем их вычитания или деления — дифференциальный метод; 3) непрерывного сравнения параметров излучения в двух каналах измерения — компенсационный метод.

В системах прямого измерения стабилизация напряжения и тока трубки осуществляется с помощью микропроцессоров. В качестве детекторов используются ионизационные камеры и сцинтилляционные счетчики с кристаллом NaI (Te) на входе ФЭУ. Детектор с предусилителем, помещают в термостат для понижения температуры и влияние на окружающей среде.

На рисунке 2.4.2 показаны измерители, работающие по методу сравнения двух потоков излучения, в зависимости от числа применяемых источников и приемников могут быть трех видов: с одним источником излучения и двумя приемниками; с двумя источниками и одним приемником; с двумя источниками и двумя приемниками.

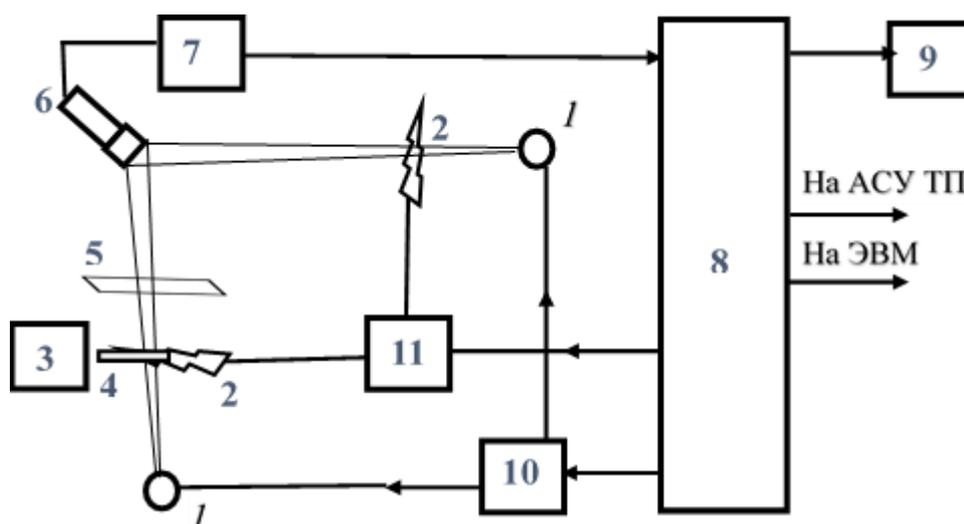


Рисунок – 2.4.2 Метод сравнения рентгеновского толщиномера ТРГ-7460.

Так, в отечественном толщиномере горячего проката ТРГ-7460 (рис.2.4.2) пучки излучения от источников 1, принятым переменным напряжением частотой 50 Гц в противофазе, текущие через поглотители, принимаются блоком детекторов 6. Когда контролируемый ОК в виде полосы 5 не обнаруживает в потоке излучения, в него подается образец 2 с помощью системы 11, идентичный образец 2 подается для сравнения. Электрический сигнал с детектора через предварительный усилитель 7 поступает в электронный блок 8, где предварительно обрабатывается и компенсируются все погрешности, а последующий блок 9 показывает нуль. После всех операций калибровочная система вводит на 3 с образец отклонения (на рисунке не показан) в рабочий поток излучения и проверяется масштаб отклонения толщины, поступающий на блоки АСУ ТП и ЭВМ. С пульта или от ЭВМ с помощью системы 3 толщина клина выбирается такой, чтобы сумма его толщины с номинальным значением толщины ОК составляла толщину образца задания 2 в потоке сравнения.

При вводе ОК в рабочий поток излучения поступает команда — сигнал, по которому система 11 выводит из рабочего потока образец 2 и подает образец 4 задания на выбранную толщину. Необходимое соотношение токов источников 1 обеспечивается регулятором тока 10.

С момента ввода клина начинается измерение отклонения толщины (ОК) от заданной и вырабатывается соответствующий сигнал, поступающий на показывающий прибор, АСУ ТП стана и ЭВМ.

2.5 Акустические методы

Акустические методы применяют для определения геометрических размеров — измерение толщины изделий. Для этой цели используют эхо- и резонансные методы контроля, а также (в редких случаях при двустороннем доступе) теневой метод.

Эхо-методом измеряют толщину изделия по длительности прохождения ультразвукового (УЗ) -импульса и частоте повторения многократных отражений ультразвуковых колебаний – (УЗК).

Для измерения толщины эхо-методом по длительности прохождения УЗ-импульса прямой преобразователь устанавливают на контролируемый объект контроля. Импульс УЗК распространяясь в объекте контроля с установленной скоростью, многократно отражается от противоположной поверхности изделия и воздействуя на пьезоэлемент (при обратном ходе), отдает ему часть своей энергии.

При этом каждый последующий импульс имеет меньшую энергию (из-за поглощения и рассеяния УЗК и воздействует на пьезоэлемент с меньшей силой. На экране прибора возникает последовательный ряд сигналов, равноотстоящих друг от друга и убывающих по амплитуде (рис.2.5.1). Интервал времени t_0 между двумя любыми соседними сигналами прямо пропорционален измеряемой толщине, т. е. $t_0=2H/C$, откуда $H=Ct_0/2$.

(2.5.1) где H -толщина объекта контроля

C - скорость ультразвуковой волны

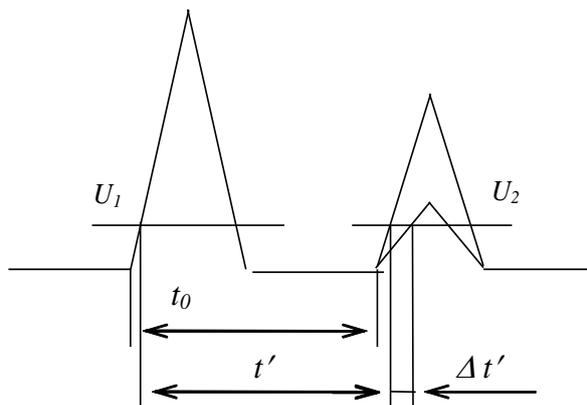


Рисунок 2.5.1 – Сигналы на экране при измерении толщины эхо-импульсным методом.

Минимальная контролируемая толщина H_{min} при заданной частоте зависит от длительности τ УЗ-импульса и интервала t_0 , H_{min} рассчитывают по следующим формулам:

$$H_{min}=(\tau_{и} + \tau_{п})/2C \quad (2.5.2)$$

для интервала t_0 до первого эхо-сигнала,

где $\tau_{и}$, $\tau_{п}$ - длительность соответственно зондирующего импульса и переходных процессов в усилителе;

C - скорость ультразвуковой волны

для интервала между любыми соседними сигналами после первого

$$N_{\min} = \tau_{и}/2C.$$

(2.5.3)

При малых толщинах интервал t_0 может стать равным длительности УЗ-импульса, многократные отражения на экране дефектоскопа сольются и контроль станет невозможным.

Чтобы контролировать еще более тонкий объект контроля, необходимо уменьшить длительность излучаемых импульсов. В этом случае необходимо, например, увеличить частоту прозвучивания.

Для измерения толщины тонких стенок применяют частоты от 10 МГц и более. Высокий коэффициент затухания в металлах не является препятствием для высокочастотных УЗК, так как толщину в 1 до 2 мм они измеряют легко.

При этом лишь увеличивается количество многократных отражений на экране.

Максимальная измеряемая толщина зависит от мощности импульсного генератора, его чувствительности, частоты УЗК и структуры металла.

Погрешность эхо-импульсных толщиномеров при измерении изделий с хорошо обработанными и параллельными поверхностями не превышает 0,1 мм, а минимальная измеряемая толщина составляет 0,25 до 0,3 мм.

При измерении изделия с грубообработанными, а также корродированными и непараллельными поверхностями погрешность измерений возрастает до 0,2 до 0,3 мм, а минимальная измеряемая толщина до 1,2 до 1,5 мм.

Измерение толщины изделий эхо-методом вторым способом основано на частотном анализе многократных отражений эхо-сигналов. При совпадении частоты многократных отражений с частотой анализатора на выходе

анализатора появляются сигналы, временное положение которых при жесткой связи частотной и временной разверток указывает на значение толщины. Этот способ позволяет уменьшить погрешность измерения толщины в диапазоне 0,5 до 1,0 мм до $\pm 2\%$.

Измерение толщины резонансным методом проводят в следующем порядке. Преобразователь устанавливают на измеряемую деталь, предварительно обеспечив акустический контакт. Если преобразователь не прижат к детали, на экране видны только измерительные сигналы. Когда преобразователь прижат к детали, на экране ЭЛТ появляются резонансные сигналы. Определение толщины заключается в совмещении измерительных сигналов с резонансными, после чего значение толщины считывается по стрелочному визиру.

Четкий резонанс со значительной амплитудой сигнала наблюдается только при параллельности поверхностей ввода и отражения УЗК.

Непараллельность стенок значительно снижает точность показаний толщиномера, особенно при измерении толщины тонких деталей. Кривизна поверхности не является препятствием для измерения толщины данным методом.

Резонансными толщиномерами контролируют толщину труб, листовой прокат, полые штамповки и изделия. В эксплуатации ими контролируют толщину стенок сосудов высокого давления, трубопроводов, корпусных и других деталей. Диапазон толщин, измеряемых резонансным методом, составляет от 0,1 до 300 мм и зависит от структуры металла, частоты УЗК и конструктивных особенностей толщиномера. Точность измерения - 0,1 до 3% от толщины детали.

Эффективность любого вида НК определяется универсальностью, достигаемыми метрологическими и эксплуатационными характеристиками при решении конкретных задач, а также обеспечением безопасных условий труда обслуживающего персонала.

К преимуществам толщинометрии акустическими методами следует отнести:

- практически мгновенную индикацию, позволяющую автоматизировать контроль;
- простоту и высокую производительность контроля;
- возможность контроля при одностороннем доступе к объекту;
- возможность оперативного контроля без отбора проб с получением результатов анализа в момент измерений;
- почти полную безопасность работы оператора и окружающего персонала;
- возможность контроля и измерения большого числа физических и физико-механических параметров материалов и изделий.

Применение акустического контроля усугубляют следующие условия:

- внутренняя неоднородность структуры материала, что вызывает сильное рассеяние ультразвуковых волн, ослабляет полезный сигнал и приводит к появлению шумов;
- малые размеры изделий сложность формы и, что затрудняет ввод УЗ-волн и требует разработки специальных методик контроля;
- грубая поверхность объекта, которая снижает чувствительность контроля и затрудняет стабилизацию контакта;

2.6 Магнитные методы

Магнитные методы применяются для замера толщин ферромагнитных листов и защитных покрытий на объекте контроля - (ОК) из ферромагнитных материалов. В магнитных толщиномерах используется зависимость магнитного сопротивления участка магнитной цепи от зазора.

Магнитные толщиномеры можно разделить на три группы: магнитостатические и индукционные, магнитоотрывные (пандеромоторного

действия). На рисунке 2.6.1 показано измерение толщины пондеромоторного типа.

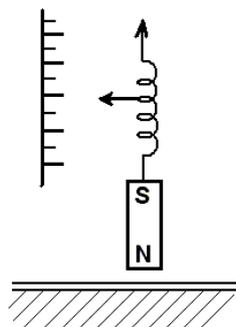


Рисунок 2.6.1 – Толщиномер пондеромоторного типа

Магнитоотрывные принцип магнитоотрывных толщиномеров основывается на измерении притяжения или силы отрыва постоянных магнитов и электромагнитов от ОК. Сила притяжения пропорциональна квадрату магнитной индукции в зазоре между постоянным магнитом и поверхностью ферромагнитного материала. Индукции в соответствии с рис.2.6.1 обратно пропорциональна зазору.

Приборы очень просты в применении и дешевы, не требуют источника питания, однако недостаток их заключается в необходимости очень тщательного измерения отрывной силы магнита, что вызывает затруднение в автоматизированном контроле.

Магнитоэлектронные в толщиномерах магнитоэлектронного типа этот недостаток устранен. Их действие основано на оценке изменения напряженности магнитного поля в цепи электромагнита или постоянного магнита при изменении зазора между ним и поверхностью ферромагнитного ОК, обусловленного наличием неферромагнитного покрытия. На рис. 2.6.2 схематически показано устройство магнитоэлектронных толщиномеров: с П-образным магнитопроводом и электромагнитом (а), постоянным магнитом (б) и стержневым магнитопроводом (в), который все же чаще выполняется с постоянным магнитом. Рабочий магнитный поток Φ , создаваемый катушкой или постоянным магнитом, замыкается по магнитопроводу или по воздуху.

По величине магнитного потока судят о толщине неферромагнитного покрытия, а магнитный поток определяют измеряя магнитную индукцию с помощью первичного преобразователя, в качестве которого используется датчик Холла, феррозонд, рамка с током и др.

Эти приборы применяются только для экспресс-оценки толщины покрытий, поскольку высокой точности отсчета получить не удастся

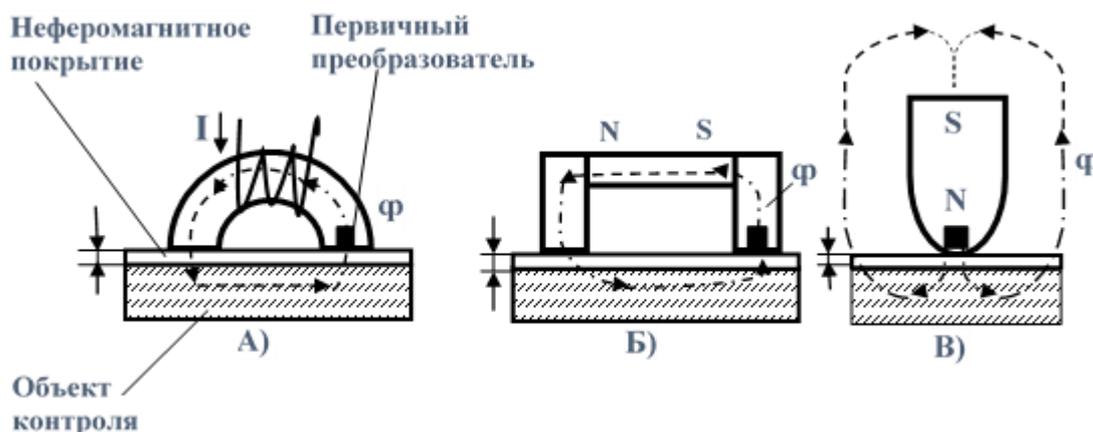


Рис. 2.6.2 - Схемы магнитостатических дефектоскопов

При контроле деталей с криволинейной поверхностью удобнее использовать однополюсные преобразователи со стержневыми магнитами (рис. 2.6.3). Для устранения влияния наклона преобразователя контактная поверхность выполняется в виде полусферы. Для повышения чувствительности магнитостатических толщиномеров осуществляют компенсацию начального уровня сигнала, размещая магниточувствительные элементы в магнитной нейтрали либо устанавливая два дифференциально включенных преобразователя.

Индукционные эти недостатки устранены в индукционных толщиномерах, использующих переменное электромагнитное поле и одностержневой магнитопровод, собственно и по этому краевой эффект перестает проявляться на расстояниях в несколько миллиметров.

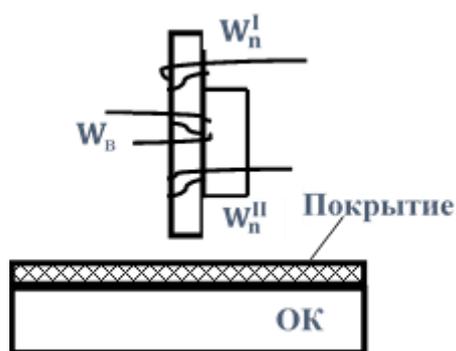


Рисунок 2.6.3 – Преобразователь индукционного толщиномера

На рисунке 2.6.3 показан преобразователь индукционного магнитного толщиномера. Ферритовый стержень расположен перпендикулярно поверхности объекта контроля. На стержне размещены катушка в возбуждающая переменное электромагнитное поле, а также две идентичные измерительные катушки ω_n^I и ω_n^{II} , соединенные встречно. В отсутствие ОК эдс измерительных катушек взаимно компенсируются. При установке преобразователя на поверхность ОК нарушается симметрия магнитного поля, созданного возбуждающей катушкой. С уменьшением толщины покрытия t асимметрия магнитного поля возрастает и соответственно возрастает выходное напряжение преобразователя, несущее информацию о толщине покрытия.

Частота возбуждающего тока в магнитных толщиномерах обычно низкая, поэтому, хотя конструктивно магнитный преобразователь весьма похож на вихретоковый, действие его основано только на изменении сопротивления магнитной цепи. Влияние вихревых токов в приборах такого типа несущественно, и электропроводимость материала практически не влияет на показания. Поэтому для измерения пригодна одна и та же шкала для всех неферромагнитных покрытий.

Обычно в индукционных толщиномерах используют накладные преобразователи двух типов. Преобразователь первого типа в виде стержня предназначен для измерения толщины покрытий на небольших деталях размеров с сложной конфигурацией и криволинейной поверхностью. Преобразователь второго типа с подпружиненной рабочей поверхностью и

трехточечной устойчивой на поверхности опорой предназначен для измерения толщины покрытий на плоских поверхностях.

Кроме рассмотренных существуют и другие толщиномеры для измерения толщин слоев объектов из ферромагнитных материалов.

Эти толщиномеры распространены значительно меньше из-за сложности получения высокой точности, особенно при измерении больших толщин.

Как уже отмечалось, действие всех рассмотренных магнитных толщиномеров основано на измерении сопротивления неоднородной магнитной цепи. Главные мешающие факторы здесь — колебания магнитных свойств ферромагнитного основания ОК, состояние и форма его поверхности. В значительной мере влияние этих факторов определяется топографией магнитного поля а следовательно, размерами и формой магнитопровода первичного преобразователя. Калибровка толщиномеров осуществляется с помощью стандартных контрольных образцов с различными сочетаниями материалов покрытия и основания.

2.7 Вихретоковые методы

предназначены для замера толщины объектов и его покрытий. Объектами контроля могут быть ленты, листы, стенки труб и баллонов, фольга из металлов и сплавов и детали машин.

В вихретоковой толщинометрии все виды покрытий удобно делить по группам:

изоляционные покрытия на основах электропроводимости, например эмалевые, лакокрасочные, пластиковые, стеклянные, резиновые покрытия на сплавах и металлах;

электропроводящие покрытия на изоляционных основаниях, например на стеклотекстолитовых печатных платах, алюминиевые покрытия на стекле (зеркала) и пластика, медные слои;

электропроводящие покрытия на электропроводящих основаниях, например антикоррозионные слои алюминия на алюминиевых сплавах, нанесенные плакированием (от франц. *plaquer* — покрывать).

Как показано на рисунке 2.7.1, источник переменного напряжения создаёт в катушке датчика переменный ток, который формирует первичное переменное магнитное поле. Поле, созданное катушкой, частично проникает вглубь объекта контроля на некоторую глубину, при этом переменное магнитное поле создаёт в объекте контроля вихревые токи. Распределение вихревых токов зависит от частоты первичного переменного поля, магнитной проницаемости материала, удельного электрического сопротивления материала, а также от геометрии объекта контроля в районе расположения датчика.

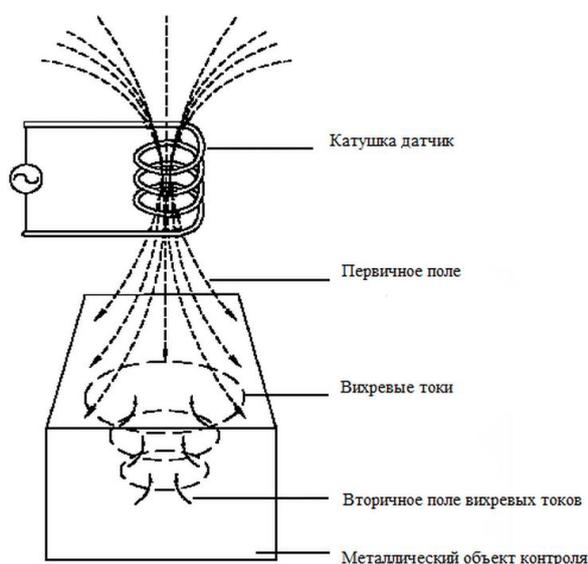


Рисунок 2.7.1. Вариант накладного вихретокового преобразователя

Распределение вторичного поля вихревых токов влияют зазор и толщина объекта контроля, поэтому метод позволяет измерять толщину объектов контроля вихретоковым методом с зазором до 15 мм.

Погрешность измерения толщины стенок труб из аустенитных (неферромагнитных) сталей, медных, алюминиевых и других ферромагнитных сплавов приборами серии ТВФ не превышает 2%. Диаметр контролируемых труб от 4 до 30 мм при толщине стенки от 0,15 до 5 мм. Диапазон частот приборов в пределах 2,5 до 75 кГц. Приборы в течение многих лет эксплуатировались на, трубных заводах для выборочного и сплошного контроля.

Подобные толщиномеры, снабженные охлаждаемыми водой накладными ВТП, применяют на станах горячей прокатки труб при колебаниях температуры на $\pm 75^{\circ}\text{C}$ относительно среднего значения 900 до 1000°C . Для компенсации влияния изменений температуры на показания приборов используется канал коррекции показаний, в который вводится значение температуры трубы, измеренное радиационным пирометром. Погрешность измерения толщины стенки труб в этих условиях не превышает 3...4% при производительности контроля до 10 до 12 м/с.

Для контроля средней по сечению толщины стенки труб (или продольной разностенности) на прокатных станах применяют толщиномеры типа ТГТФ с проходными ВТП, также охлаждаемыми водой. Погрешность измерения средней толщины стенки не превышает 3%. Прибор устанавливается на входной стороне трубопрокатного стана, куда поступают заготовки, нагретые до температуры от 900 до 1000°C . Его применение позволяет управлять процессом прокатки труб, благодаря чему можно получать трубы с минусовым допуском по толщине стенки и тем самым экономить металл.

Анализ сводных данных, показывает, что для измерения толщины труб из металлических изделий целесообразно использовать акустический вид контроля, потому что эхо-импульсный метод, имеет практически мгновенную индикацию, позволяющую автоматизировать контроль, простоту и высокую производительность контроля, возможность контроля при одностороннем доступе к объекту, возможность оперативного контроля без отбора проб с

получением результатов анализа в момент измерений, почти полную безопасность работы оператора и окружающего персонала.

Ниже приведены сравнительные характеристики методов, применяемых для измерения толщин металла трубы и их защитных покрытий, приложение А таблица А1. В таблице приведены все описанные методы контроля, указаны их достоинства и недостатки.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

Цель работы необходимо разработать прибор для контроля толщины изделий из металлических сплавов. Измерение толщины должно осуществляться с помощью ультразвукового эхо-импульсного метода.

В процессе выполнения необходимо рассмотреть структурную, принципиальную схему устройства, схему преобразователя.

Диапазон измерения толщины в зависимости от преобразователя может находиться в пределах от 0,8 до 1000 мм.

Толщиномер должен измерять толщину любого металлического изделия в указанном диапазоне.

Предел допускаемого значения основной погрешности толщиномера $\pm 0,1$ мм в поддиапазоне измерения от 0,8 до 300 мм, $\pm 0,001$ мм в поддиапазоне измерения от 20 до 300 мм и $\pm 0,1$ мм в поддиапазоне от 100 до 1000 мм. Индикация результатов измерения должна быть цифровая.

Разрабатываемый толщиномер – переносной прибор, он рассчитан для эксплуатации при температуре от -20 до $+50^{\circ}\text{C}$, относительной влажности окружающего воздуха 95% при температуре 35°C и более низких температурах без конденсации влаги, атмосферном давлении от 84 до 106,7 кПа.

Питание толщиномера должно осуществляться от шести батарей типа АА.

Кроме всего этого масса прибора должна быть наименьшей, органы управления и индикации должны располагаться так, чтобы оператору было удобно видеть измерения и производить настройку прибора.

Ниже перечислены технические параметры толщиномера которых хотим добиться при разработке прибора. Осуществить автоматическую запись данных измеряемой толщины стенки с последующей их обработкой и

выведением среднего значения толщины изделия, а также выдачей самых наименьших значений измеренных толщин.

3.1 Технические параметры разрабатываемого толщиномера

Развертка экрана: до 1000 мм

Диапазон 0,8 до 1000мм

Дисплей: цветной TFT 320 x 240

Усилитель: широкополосный 0.5 - 15 МГц

Подключение любых УЗ преобразователей

Диапазон регулировки усиления 110 дБ

А-скан, В-скан (профиль дна изделия)

Интерфейс - USB

Питание: встроенный аккумуляторы или внешний блок питания

Не менее 12 часов работы от аккумуляторов

Фиксирование минимального значения толщины

Коррекция V-образности р/с преобразователей

Заморозка А-сигнала

Измерение толщины по одному сигналу или между двумя сигналами

Точность индикации толщины: 0.01 или 0.1

Память конфигураций (все параметры прибора и преобразователя)

Память результатов с возможностью просмотра результатов на экране

Запись — 15000 значений толщины или 2000 форм волны со значениями

толщины

Подсчет среднего значения толщины изделия согласно схеме контроля точек, и выводом минимального значения на экран дисплея

Диапазон рабочих температур: -20 – +50°C

Подогрев экрана

4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭХО-МЕТОДА КОНТРОЛЯ.

Выбранный нами метод акустического контроля наиболее распространён для измерения толщин металлических изделий. Положенный в основу метод состоит в измерении времени пробега ультразвуковых импульсов между поверхностями измеряемого изделия, которое прямо пропорционально толщине изделия и обратно пропорционально скорости

Эхо-импульсные толщиномеры делятся на приборы для контроля изделий с чистыми поверхностями (параллельными) - группа А и грубо обработанными непараллельными поверхностями - группа Б.

Нижняя граница диапазона измерений приборов: группы А - $(0,2..0,3)10^{-3}$ м с погрешностью 0,5%; группы Б - $(1,2..1,5)10^{-3}$ м с абсолютной погрешностью $(0,1..0,2)10^{-3}$ м.

В основном на практике реализуется четыре типа акустического тракта толщиномеров: контактные с раздельно-совмещенным пьезопреобразователем, с совмещенным преобразователем и твердотельной линией задержки, без линии задержки и иммерсионный с совмещенным преобразователем (рис.4.1).

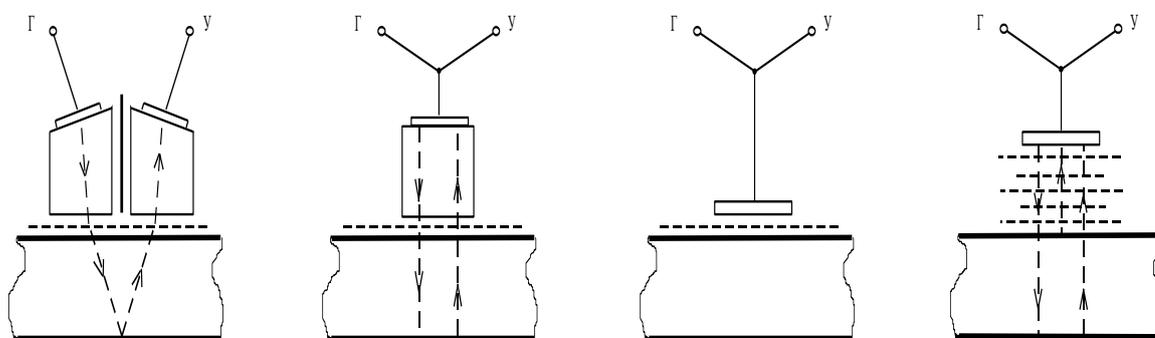


Рисунок 4.1. - Типы акустического тракта толщиномеров

Толщина контролируемого изделия d определяется для первой схемы по формуле

$$d = 0,5c(t_1 - t_2 - t_3) = 0,5ct, \quad (4.1)$$

где t_1 - общее время пробега УЗ-импульса.

t_2 и t_3 - время пробега УЗ- импульса по одной и по второй призмам.

c -скорость ультразвуковых колебаний

Время пробега по слою жидкости мало по сравнению с t .

Основными параметрами волны являются длина волны и период. Число циклов совершенных за одну секунду называется частотой и измеряется в Герцах (Гц). Время, требуемое чтобы совершить полный цикл, называется периодом и измеряется в секундах. Взаимосвязь между частотой и периодом волны приведено в формуле: $f \frac{1}{T}$

(4.2)

где f это частота в Гц.

T период в секундах

Ниже на рисунке 4.2 изображён колебательный процесс ультразвуковой волны.

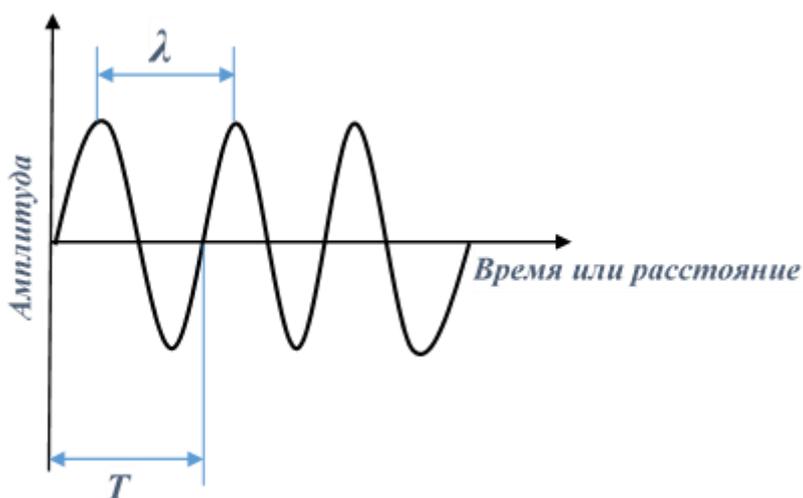


Рисунок 4.2 – Основные параметры ультразвуковой волны

λ - длина волны, T -период

На практике измерение толщины ведется, как правило, по первому донному импульсу назовем его $U1$. Это объясняется наибольшей амплитудой

импульса U_1 по сравнению с другими (U_2, U_3, \dots) и минимальным искажением этого сигнала, т.к. он претерпевает лишь однократное отражение. Важное условие для акустического тракта с контактными преобразователями - минимальная толщина слоя контактной смазки.

Иммерсионный вариант тракта с совмещенным преобразователем (рис.4.1). Здесь твердотельная линия задержки заменена жидкостной. Показания прибора не зависят от расстояния между преобразователем и изделием, если высота промежуточного столба жидкости такова, что выполняется условие $t_1 > t_{\max}$.

Акустический тракт толщиномеров по схеме (рис.4.1 в) отличается тем, что время пробега колебаний по протектору как правило меньше длительности импульсов. Поэтому максимальная толщина изделия ограничивается только затуханием ультразвука.

Рассмотрим схему эхо-импульсного толщиномера (рис.4.3) с совмещенным преобразователем. Генератор импульсов 1 возбуждает преобразователь 2.

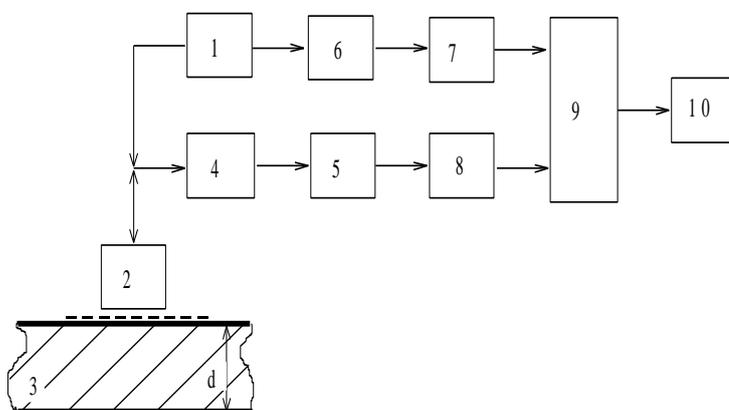


Рисунок 4.3 - Схема эхо-импульсного толщиномера

УЗ-импульсы через слой контактной смазки попадают в изделие 3, отражаются от его поверхности и возвращаются на преобразователь. Электрические импульсы с выхода преобразователя 2 поступают на вход усилителя 5 через амплитудный ограничитель 4. Генератор 1 запускает схему

временной задержки 6, которая в свою очередь запускает пороговое устройство 7, фиксирующее начало отсчета измеряемого временного интервала между эхо-импульсами. Задержка в схеме 6 подстраивается равной задержке УЗ-импульсов в протекторе преобразователя 2. При этом устройство 7 срабатывает в момент, когда УЗ-импульс достигает внешней поверхности изделия. Первый же из эхо-сигналов с выхода усилителя 5 запускает второе пороговое устройство 8, аналогичное устройству 7, фиксируя конец измеряемого интервала. Информация с выходов 7 и 8 поступает на преобразователь 9 временного интервала в требуемый вид сигнала, который отображается блоком 10.

Оценку суммарной реальной погрешности толщиномеров производят на стандартных образцах толщины, кривизны, клиновидности и шероховатости посредством аттестованных механических и оптических приборов.

Следует отметить, что диапазон толщин для эхоимпульсных приборов определяется рядом факторов. Так например, в области малых толщин диапазон измерений ограничивается мертвой зоной преобразователя и разрешающей способностью электроакустического тракта.

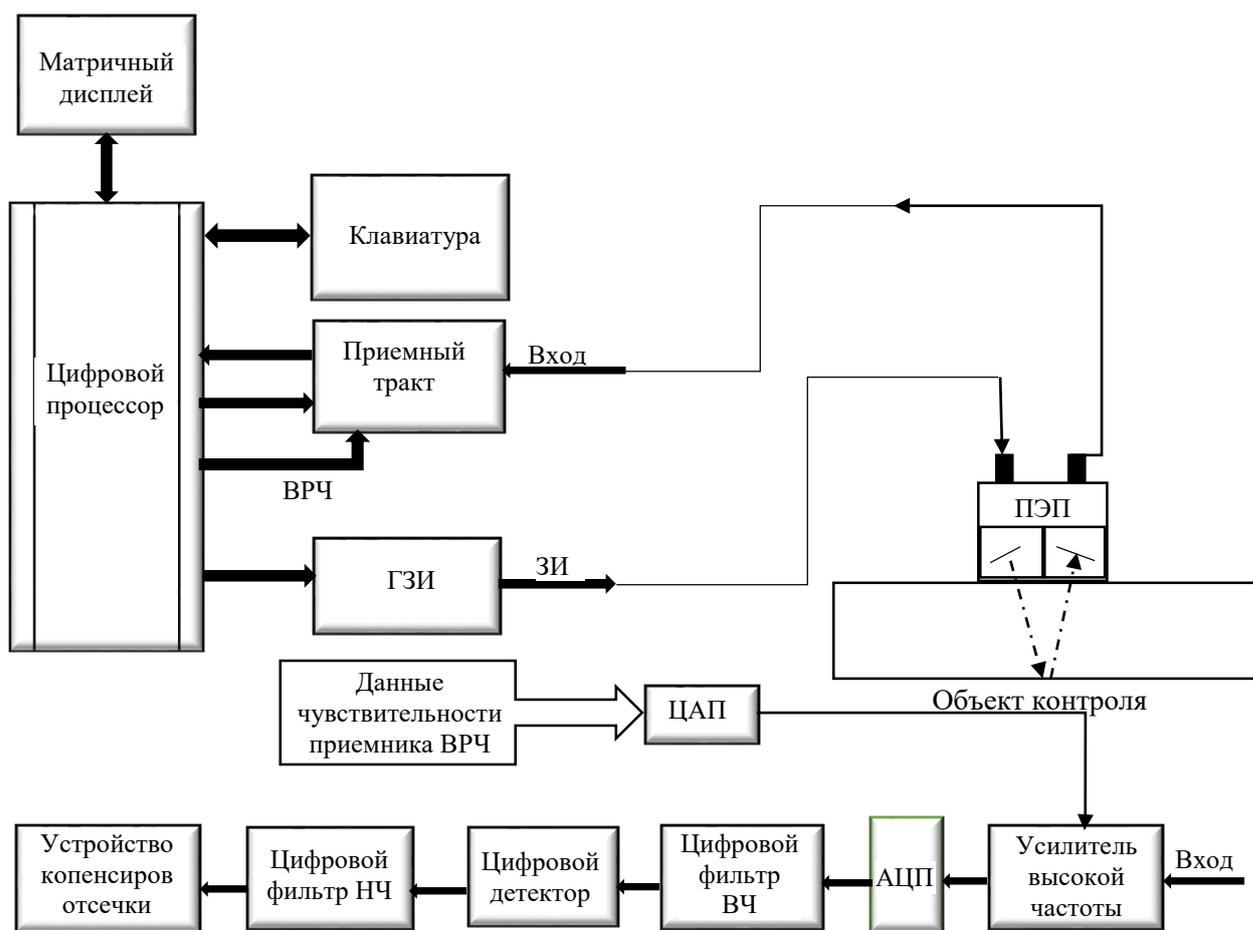
5 СРУКТУРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ

Структурная схема импульсного толщиномера выводит ряд узлов, принцип и назначение действия которых аналогичны используемым в дефектоскопе, а именно: генератор зондирующих импульсов, преобразователь, приемник-усилитель электронной схемы задержки, формирователь напряжения временной регулировки чувствительности - (ВРЧ), измерительного триггера, микропроцессорного блока, клавиатуры, индикации и блока питания.

Рассмотрим их некоторые особенности.

Генератор зондирующих импульсов предназначен для возбуждения ультразвуковых преобразователей. Генератор формирует мощный короткий электрический сигнал, при этом формируется зондирующий импульс на ультразвуковом преобразователе. Для эффективного подавления электрических ложных сигналов, вызванных акустической помехой, возникающей в пьезоэлектрическом преобразователе - (ПЭП), в усилитель вводится цепь временной регулировки чувствительности, обеспечивающая уменьшение коэффициента усиления в начале временной развертки и возрастание усиления по мере удаления от зондирующего импульса. Сигналы ультразвукового преобразователя поступают на усилитель высокой частоты. На входе усилителя установлен ограничитель напряжения, который предназначен для защиты электронной схемы от воздействия мощного зондирующего импульса. Во входной цепи усилителя установлен переключатель диапазонов входных сигналов. Импульс измерительного триггера подается на один из входов электронного коммутатора измеряемого импульса, используемый при юстировке толщиномера по измеряемой скорости распространения УЗК в материале изделий при измерении толщины, либо измерении скорости в материале при известной толщине. Схема задержки предназначена для компенсации времени распространения УЗК в элементах конструкции (призмах) преобразователя.

Автоматическая регулировка усиления задает постоянную амплитуду принятого донного сигнала, что важно для повышения точности измерения. Блок формирования напряжения ВРЧ — помехозащита; простейший способ помехозащиты — стробирование, т. е. включение приемника только на время измерительного цикла. Измерительный триггер запускают начальным импульсом и выключают донным сигналом. В результате формируется импульс, длительность которого пропорциональна измеряемому интервалу времени. Микропроцессорный блок трансформирует поступивший сигнал в цифровой код и подает его на цифровой индикатор, отображающий отклонение при выходе толщины за пределы допуска. Далее на рисунке 5.1 будет показана структурная схема ультразвукового толщиномера, в приложение - Б, будет показаны дополненная структурная схема.



Блок-схема приемного тракта

Рисунок 5.1 Структурная схема ультразвукового толщиномера

10 ТЕХНИКО – ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НИР

Организация и планирование работ

При проведении научно-исследовательскую работы задействовались два исполнителя:

- научный руководитель (НР),
- инженер (И).

Составим таблицу перечня работ и продолжительности их выполнения:

Таблица 10.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Изучение области исследования по тематике	И	И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Изучение литературы	И	И – 100%
Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	НР, И	НР – 10% И – 100%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР-100% И-70%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР-100% И-80%
Выбор основания и направления исследований	НР, И	НР – 100% И – 70%
Расчет принципиальной схемы устройства	И	И-100%
Разработка нового подхода	И	И – 100%
Анализ эффективности разработанного подхода	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Составление презентации	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Расчет продолжительности этапов работ осуществим опытно-статическим вероятностным методом, в котором для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется метод двух оценок

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (10.1)$$

где t_{\min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн,

t_{\max} – максимальная трудоемкость работа, чел/дн.

Составим таблицу продолжительности каждого этапа работ.

Таблица 10.2 – Трудозатраты на выполнение проекта

№	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях		
			t_{\min}	t_{\max}	$t_{ож}$
1	Постановка целей и задач	НР	0,9	1,5	1,14
2	Изучение области исследования по тематике	И	3	6,5	4,4
3	Разработка календарного плана	И	0,7	1,2	0,86
4	Изучение литературы	И	5	10	7
5	Выбор структурной схемы устройства	НР, И	6,5	9	7,5
6	Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	4	6,5	5
7	Расчет принципиальной схемы устройства	И	4	5,2	4,48
8	Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	НР, И	2	5	3,2
9	Выбор основания и направления исследований	НР, И	1	2	1,4
10	Разработка нового подхода	И	14	19	16
11	Анализ эффективности разработанного подхода	НР, И	2	3	2,4
12	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	8	11	9
13	Составление презентации	И	3	6	4,2
14	Подведение итогов	НР, И	1	2	1,4
	Итого:				70,08

Рассчитаем длительность этапов работ в рабочих и календарных днях по формулам:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad T_{кд} = T_{рд} * T_{к}$$

(10.2)

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$);

$T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{кд}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{к}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитаем по формуле:

$$T_{к} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 12$).

Следовательно, коэффициент календарности составляет $T_{к} = 1.213$.

В таблице 10.3 рассчитаем длительности каждого этапа в рабочих и календарных днях.

Таблица 10.3 длительности этапов работ

№	Этап	Исполнители	Длительность работ, чел/дн.			
			$T_{РД}$		$T_{кд}$	
			НР	И	НР	И
1	Постановка целей и задач	НР, И	1,36	-	1,64	-
2	Изучение области исследования по тематике	И	-	5,3	-	6,42
3	Разработка календарного плана	И	1	0,100	1,213	0,213
4	Изучение литературы	И	-	8,4	-	10,18

Таблица 10.3 Продолжение

5	Выбор структурной схемы устройства	НР, И	9	6,3	10,91	7,64
6	Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	6	4,8	7,27	5,82
7	Расчет принципиальной схемы устройства	И	-	5,04	-	6,11
8	Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	НР И	0,696	6,96	0,844	8,44
9	Выбор основания и направления исследований	НР, И	1,68	1,17	2,037	1,41
10	Разработка нового подхода	И	-	19,2	-	23,28
11	Анализ эффективности разработанного подхода	И	-	2,88	-	3,49
12	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	-	11,27	-	13,67
13	Составление презентации	И	-	6,04	-	7,32
14	Подведение итогов	НР, И	1,008	1,68	1,223	2,038
	Итого:		20,744	79,14	25,137	95,568

Рассчитаем величину завершенности работы на каждом из этапов. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$H_i = \frac{t_{Hi}}{t_0} \cdot 100\% , \quad (10.4)$$

где t_{Hi} - нарастающая трудоемкость с момента начала работы i -го этапа;

t_0 – общая трудоемкость, вычисляемая по формуле.

$$t_0 = \sum_{i=1}^n t_{ож_i} ,$$

где $t_{ож_i}$ – ожидаемая продолжительность i -го этапа.

Удельный вес каждого этапа Y_i определяется по формуле:

$$Y_i = \frac{t_{ож_i}}{t_0} \cdot 100\% .$$

В таблице 10.4 отображены основные результаты завершенности и удельного веса каждого этапа.

Таблица 10.4 – Основные результаты завершенности работы на каждом из этапов.

№	Этап	$H_i, \%$	$Y_i, \%$
1	Постановка целей и задач	1,36	1,36
2	Изучение области исследования по тематике	5,3	6,66
3	Разработка календарного плана	1,11	7,76
4	Изучение литературы	8,4	16,16
5	Выбор структурной схемы устройства	15,3	31,46
6	Выбор принципиальной схемы устройства	10,6	42,46
7	Расчет принципиальной схемы устройства	5,04	47,3
8	Проведение сравнительного анализа существующих методов и подходов	7,656	55
9	Выбор основания и направления исследований	2,85	57,85
10	Разработка нового подхода	19,2	77,05
11	Анализ эффективности разработанного подхода	2,88	79,93
12	Оформление расчетно-пояснительной записки	11,27	91,2
13	Составление презентации	6,04	97,24
14	Подведение итогов	2,76	100

Таблица 10.5 иллюстрирует линейный график работ на основе рассчитанного для инженера и научного руководителя времени $T_{КД}$.

Таблица 10.5 – Линейный график работ

Этап	Март			Апрель			Май			Июнь	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	■										
2	■	■									
3		■									
4			■	■							
5				■	■						
6					■	■					
7						■	■				
8							■	■			
9								■	■		
10									■	■	
11										■	
12											■
13											■
14											■

■ НР ■ И

10.1 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- прочие расходы.

Расчет затрат на материалы

К данной статье относятся стоимость покупных материалов, используемых при разработке. Таблица № 10.1.1 сметой расходов на покупные материалы, включающая цену за единицу материала, количество и общую сумму.

Таблица 10.1.1 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Микропроцессор	5850	1 шт.	5850
Блок прибора	6825	1 шт.	6825
Блок питания	1625	1 шт.	1625
Преобразователь	8000	1 шт.	8000
Кабель Р/С	1400	1 шт.	1400
Клей обойный	240	1 уп.	240
Итого:			23940

Общая цена на расходные материалы составили $C_{\text{мат}} = 23940$ рублей.

Расчет основной заработной платы

Следующая статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, выполняющего разработку. Расчет основной заработной платы основывается на трудоемкости выполнения каждого из этапов и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$\text{Дневная з/п} = \frac{\text{Месячный оклад}}{25,17 \text{ дней}} \quad (10.1.1)$$

Так как в году 302 рабочих дня, следовательно, в месяце 25,17 рабочих дней. Затраты на выполнение работы по каждому исполнителю отображены в таблице 4.3. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов: $K_{\text{ПР}} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,8$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,8 = 2,352$. Вышеуказанное значение $K_{\text{доп.ЗП}}$ применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае $K_{\text{и}} = 1,62$.

Таблица 10.1.2 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	35000	1390	21	1,699	45593,81
И	28000	1112	79	1,62	142313,76
Итого:					187907,57

Таким образом затраты на основную заработную плату составили

$$C_{\text{ЗП}} = 187907,57 \text{ руб.}$$

Расчет отчислений в социальные фонды

Отчисления по данной статье определяются по следующей формуле:

$$C_{соц} = K_{соц} \cdot C_{осн}, \quad (10.1.2)$$

где $K_{соц}$ – коэффициент, учитывающий размер отчислений. Следующий коэффициент составляет 30% от затрат на заработную плату и включает в себя:

- 1) отчисления в пенсионный фонд;
- 2) на социальное страхование;
- 3) на медицинское страхование.

Таким образом, отчисления от заработной платы составляют

$$C_{соц} = 0,3 \cdot 187907,57 = 56372,3$$

Расчет затрат на электроэнергию

Данная статья расходов включает в себя затраты на электроэнергию, затраченную при работе необходимого для разработки оборудования и освещения. Затраты на электроэнергию при работе оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{эл.об} = P_{об} \cdot Ц_{э} \cdot t_{об}, \quad (10.1.3)$$

где $\mathcal{E}_{об}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;

$P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$ – тарифная цена за 1 кВт час, $Ц_{э} = 5,257$ руб/кВт час;

$t_{об}$ – время оборудования, час.

Время работы оборудования вычислим на основе данных таблицы 10.3 из расчета того, что продолжительность рабочего дня длится 8 часов.

Затраты на электроэнергию необходимые для разработки и выполнения проекта приведены в таблице 10.1.3.

Таблица 10.1.3 – Затраты на электроэнергию для технологических целей

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты $\Delta_{об}$, руб.
Ультразвуковой толщиномер	664*0,6	0,012	25,13
Итого:			25,13

Расчет амортизационных расходов

Амортизационные отчисления рассчитываются на время использования упо формуле:

$$C_{AM} = \frac{N_A \cdot C_{об}}{F_D} \cdot t_{BT} \cdot n, \quad (10.1.4)$$

Где N_A – годовая норма амортизации, $N_A = 25\%$;

$C_{об}$ – цена оборудования, $C_{об} = 23940$ руб.;

F_D – действительный годовой фонд рабочего времени, $F_D = 2384$ часов;

t_{BT} – время работы при создании прибора, $t_{BT} = 664$ часа;

Таким образом, затраты на амортизационные отчисления составили:

$$C_{AM} = \frac{0,25 \cdot 23940 \cdot 664}{2384} = 1667 \text{руб.}$$

Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях.

Прочие расходы составляют 10% от единовременных затрат на выполнение технического продукта и проводятся по формуле:

$$C_{ПРОЧ} = (C_{МАТ} + C_{ЗП} + C_{СОЦ} + C_{ЭЛ.ОБ} + C_{AM}) \cdot 0,1. \quad (10.1.5)$$

$$C_{ПРОЧ} = (23940 + 187907,57 + 56372,3 + 25,13 + 1667) \cdot 0,1 = 26991.$$

Расчет общей себестоимости разработки

После проведения расчета затрат на разработку можно рассчитать себестоимость разработки подхода к идентификации.

Таблица 10.1.4 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
1 Материалы и покупные изделия	$C_{\text{МАТ}}$	23940
2 Основная заработная плата	$C_{\text{ЗП}}$	187907,57
3 Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{СОЦ}}$	56372,3
4 Расходы на электроэнергию	$C_{\text{ЭЛ.ОБ}}$	25,13
5 Амортизационные отчисления	$C_{\text{АМ}}$	1667
6 Прочие расходы	$C_{\text{ПРОЧ}}$	26991
Итого:		296903

Общие расходы на разработку составили $C = 296903$ рублей.

Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере $5 \div 20 \%$ от полной себестоимости проекта. В данной работе она составляет 59380 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

Расчет НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(296903 + 59380) * 0,18 = 64131$ руб.

Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем

случае

$$Ц_{\text{НИР(КР)}} = 296903 + 59380 + 64131 = 420414 \text{руб.}$$

Полная смета затрат на выполнение НИР

Таблица 10.1.5 отображает полную смету затрат, потраченную на разработку.

Таблица 10.1.5 – Полная смета затрат

Наименование статьи	Затраты, руб.
1 Материалы и покупные изделия	23940
2 Основная заработная плата	187907
3 Отчисления в социальные фонды	56372
4 Расходы на электроэнергию	25,13
5 Амортизационные отчисления	1667
6 Прочие расходы	26991
7 Общая себестоимость проекта	420414