

**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
<b>Сравнительный анализ методов и средств ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов.</b>

УДК 622.691.4:620.179

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-1Б11	Тарасенко Евгений Валерьевич		

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 ФМПК	Суржиков Анатолий Петрович	д.ф.-м.н.		

## 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 документацию, презентовать и защищать результаты	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
	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	Тарасенко Евгений Валерьевич

Тема работы:

Сравнительный анализ методов и средств ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.01.2016 №317/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2016
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(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.).</i></p>	<p>Ультразвуковой дефектоскоп, 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>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор неразрушающих методов контроля для сварных швов из металлических сплавов и их покрытий, методы - радиационный, акустический. Анализ методов контроля, выбор метода контроля. Сравнение ультразвуковых приборов и выбор более подходящего для контроля сварных швов на объектах трубопровода.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>-----</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Конотопский Владимир Юрьевич</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Анищенко Юлия Владимировна</p>
<p></p>	<p></p>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
<p>Заключение</p>	

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>3-1Б11</p>	<p>Тарасенко Евгений Валерьевич</p>	<p></p>	<p></p>

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 84 \_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_ 29 \_\_\_\_\_ рис., \_\_\_\_\_ 16 \_\_\_\_\_ табл.,  
\_\_\_\_\_ 14 \_\_\_\_\_ источников, \_\_\_\_\_ 0 \_\_\_\_\_ прил.

Ключевые слова: Неразрушающий контроль, акустический, ультразвуковой, преобразователь, труба, сварной шов, методы контроля.

Объектом исследования является Труба металлическая бесшовная для газопроводов.

Цель работы – Провести анализ методов и средств ультразвуковой дефектоскопии и выбрать более подходящий для контроля газопроводов в условиях сибирского климата.

В процессе исследования проводились Обзор методов и средств ультразвуковой дефектоскопии. Выбор наиболее подходящего метода и оборудования для контроля газопровода в условиях Сибирского климата.

В результате исследования Выбор наиболее подходящего метода и средств ультразвуковой для контроля газопровода в условиях сибирского климата.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Диапазон измерений 0,8 до 1220 мм, частотный диапазон 0,5 до 15 МГц, диапазон рабочих температур от -40 до +50.

Область применения: Неразрушающий контроль сварных швов на объектах газопровода.

## Оглавление

Введение.....	9
1 Теоретический анализ методов и средств ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов.....	10
1.1 Физические основы ультразвукового неразрушающего контроля .....	10
1.2 Ультразвуковой контроль сварных соединений .....	13
1.2.1 Ультразвуковой контроль стыковых соединений с толщиной шва 3,5..15мм .....	17
1.2.2 Ультразвуковой контроль стыковых соединений толщиной шва 16...40 мм .....	18
1.3 Методы ультразвукового контроля сварных соединений.....	22
1.3.1 Эхо - метод .....	23
1.3.2 Теневой метод.....	23
1.3.3 Зеркально - теневой метод.....	24
1.3.4 Эхо - зеркальный метод "Тандем" .....	25
1.3.5 Дельта-метод.....	26
1.4 Преимущества и недостатки УК по сравнению с другими методами....	27
1.4.1 Основные плюсы ультразвукового контроля: .....	27
1.4.2 Основные минусы ультразвуковых методов, которые относятся прежде всего к высокочастотным методам: .....	29
2 Результат сравнительного анализа методов и средств ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов .....	30
2.1 Сравнительный анализ известных методик ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов .....	30
2.2 Выбор метода контроля (теоретический анализ акустического тракта) .....	34
2.3 Анализ дефектоскопов.....	36
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	50
3.1 Организация и планирование работ .....	50
3.1.1 Продолжительность этапов работ .....	50
3.1.2 Расчет накопления готовности проекта .....	54
3.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта .....	55
3.2.1 Расчет затрат на материалы.....	55
3.2.2 Расчет заработной платы .....	56
3.2.3 Расчет затрат на социальный налог .....	57
3.2.4 Расчет затрат на электроэнергию.....	57
3.2.5 Расчет амортизационных расходов .....	58
3.2.6 Расчет прочих расходов .....	59
3.2.7 Расчет общей себестоимости разработки .....	59

## Введение

В наше время сложно назвать такую область обработки металлов, где не использовались бы сварные соединения, а именно в радиоаппаратуре, точное приборостроение, газопроводов, нефтепроводов, машиностроение. Сварные швы прочны и надежны, что имеет немало важное значение в производстве различных сосудов, где производится хранение и поставка сжиженных газов, для котлов отопления и т.д. [1]

Неразрушающий контроль в большинстве технологических процессов, а именно в числе сварных швов является незаменимой частью общего технологического процесса, строительство объектов ответственного назначения. Основное количество неразрушающего контроля приходится на сварные швы, для которых применяют разные методы, такие как радиографический, ультразвуковой, а также методы для определения поверхностных дефектов.

Ультразвуковой контроль играет важную роль при контроле сварных соединений, на его долю приходит 32% объема контроля всех изделий. Несмотря на высокий уровень автоматизации труда в развитых странах, доля ручного ультразвукового контроля остается наибольшей. Это связано с тем, что большие объемы работ проводятся на объектах, находящихся в эксплуатации: атомные электростанции, трубопроводы различного назначения, транспортные средства и т.д. Характерной чертой указанных объектов является большое разнообразие конструкций, и, следовательно, методик ультразвукового контроля, поэтому работы по контролю плохо поддаются автоматизации.

Принцип работы ультразвукового контроля в том, что он позволяет узнать информацию о несплошностях, расположенных на любой глубине в различных материалах, изделиях и сварных соединениях. Ультразвуковой метод контроль не только увеличивает производительность труда, но и так же дает объективную изображения качества нашего изделия или сварного шва, подобную рентгенограмме.



# 1 Теоретический анализ методов и средств ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов

## 1.1 Физические основы ультразвукового неразрушающего контроля

В данной работе рассматриваются методы и средства ультразвукового неразрушающего контроля. Но сначала необходимо рассмотреть принцип ультразвуковых волн.

Любое несоответствие от норм равновесия, происходящие материальной точкой под воздействием какой-либо силы, это называют колебаниями. Если движущая сила повышается пропорционально отклонению, то данную силу называют упругой, а колебания – упругими или гармоническими.

Гармонический колебательный процесс (рисунок 1.1) можно записать формулой

$$\xi = \xi_0 \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где отклонение  $\xi$ , равное длине колеблющейся точки от точки равновесия в любом времени  $t$ , называют изменением или амплитудой,  $\xi_0$  –наивысшая амплитуда ее изменения, величину  $\omega t + \varphi_0$ , применяющиеся аргументом косинуса, называют фазой, а данные  $\varphi_0$  – начальной фазой колебания. Так же с амплитудой  $\xi_0$  начальная фаза  $\varphi_0$  определяет изменение, и скорость колеблющейся положения в начальный момент времени. Формула  $\omega = 2\pi f$  определяет круговую частоту (рад/с), изменение от частоты  $f$ , равную количеству полных колебаний в секунду (Гц=1/с).

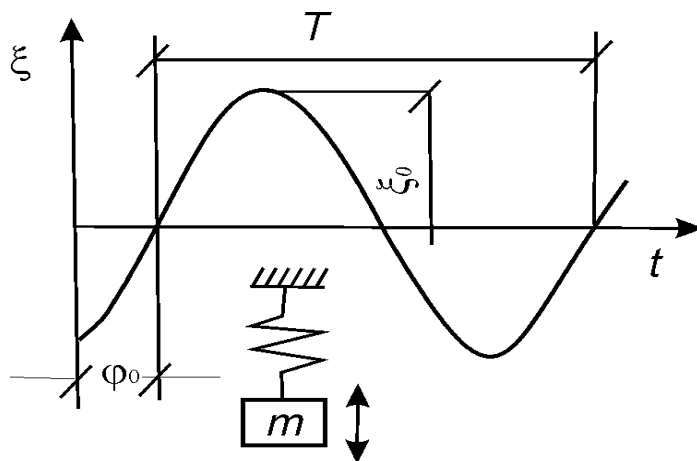


Рисунок 1.1 - Гармонический колебательный процесс

Упругие колебания способны возникать в каждой материальной среде. Присутствие упругих межмолекулярных цепей в среде среди частиц возможно отдавать энергию колеблющихся частиц примыкающим и приводит к тому, что их изменения передаются от одного участка частиц к другому в хаотичных направлениях.

Процесс распространения акустической волны в упругой среде показывается простой пространственной моделью. Здесь разные частицы, из которых получается твердое тело, сопоставлены к своим участкам упругими силами. Если в одно и тоже время создать движение всех частицы, расположенные на одной линии АВ, то стянут пружины и перенесется движение частицам на одной линии СD. Они же в свою очередь перенесут движение частицам на одной линии EF и т.д. Частицы на одной прямой АВ, достигнув наивысшего смещения справа, силами упругости станут возвращаться в точку равновесия достигнув наивысшего изменения влево, после этого они возвратятся обратно. Следовательно, каждый уровень материальных частиц готов выполнить колебательное движение. Допустим, что частицы были соединены между собой жестко, то все они стали бы в движение в одно и тоже время и находились бы все время в одном состоянии движения, т.е. были бы в одной и той же фазе. В упругих средах все по-другому. Для перенесения движения нужно не определенное время, и уровни, в которых движение поступило позже, отстают на уровень от передних. Тогда как частицы какого-либо уровня проникают сквозь положения равновесия при колебаниях справа налево, частицы, которые находятся в плоскостях справа, могут начинать свой путь направо. Частицы задерживаются как раз на половину периода колебания. Они же претерпевают в каждом уровне полный цикл колебания, направляя свои изменения от уровня к уровню слева направо с заданной скоростью возбуждения, потому что имеют место задерживаться. Так возбуждается волна как процесс проникновения упругих колебаний в заданной среде. И их направление, по которому передается наибольшая энергии волнового движения, называют лучом.

В ультразвуковом контроле определяют три типа волн:

Продольные волны, это волны растяжения и сжатия, в которых заданное направление изменения частиц не пересекаются с направлением распространения волны; в данных волнах имеются зоны высокого и низкого давления (рисунок 1.2 а).

Поперечные волны, это изменение частиц ортогонально направлению распространения волны (рисунок 1.2 б).

Продольные волны проникают в разные среды (твердые, жидкие, газообразные), а вот поперечные волны – проникают только в твердых изделиях, имеющую объемную упругость.

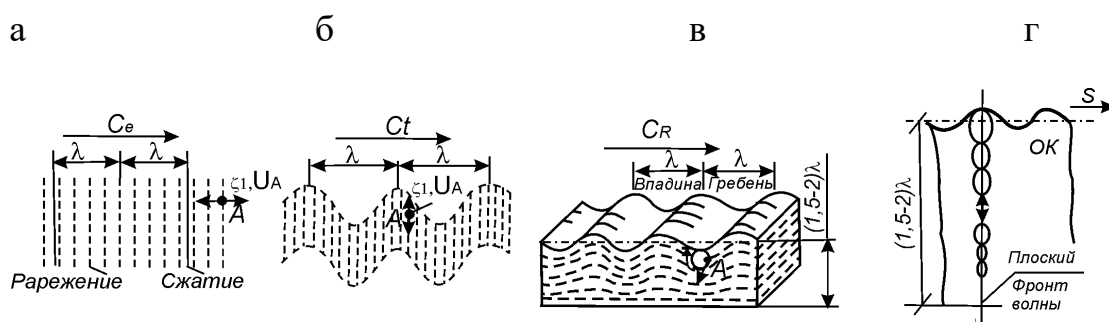


Рисунок 1.2 - Разновидность ультразвуковых волн: а – продольная волна; б – поперечная волна; в – поверхностная волна; г- поверхностные волны Рэлея

Поверхностные волны — это упругие волны, которые проникают вдоль изделия, мало напряженной границы твёрдого тела; (рисунок 1.2, в). Разновидность поверхностной волны, которая распространяется на границе «твердая среда – газ», называют волной Релея («R» - волна). Она является комбинацией продольных и поперечных волн, ее частицы в приповерхностном слое совершают колебательные движения по эллиптическим траекториям (рисунок 1.2, г). Большая ось эллипса при этом перпендикулярна к границе и совпадает с плоским фронтом волны. Входящая в R-волну продольная волна затухает с глубиной быстрее, чем поперечная, и поэтому частицы, совершая колебания, движутся по эллипсам с все большей глубиной и более вытянутым. Полное затухание поверхностной волны происходит на глубине 1-1,5  $\lambda$ . [1]

Ультразвуковые волны характеризуются следующими основными параметрами: длиной волны  $\lambda$  (м), скоростью распространения волн  $C$  (м/с), колебательной скоростью частиц среды  $V$  (м/с), частотой  $f$  (Гц).

Главный параметр любой волны – длина волны  $\lambda$ . Она равна отрезку пути, пробегаемому волной за период  $T$  времени, в течение которого происходит полный цикл одного колебания, т.е.  $\lambda = C \cdot T$ . Для продольных волн, например, это некоторое постоянное значение расстояния, через которое чередуются зоны сжатия и разрежения, для поперечных – участки сдвига вверх – вниз. Длина волны  $\lambda$  – это внутренняя согласованная мера, относительно которой определяются и через которую связаны многие параметры волн, аппаратуры, среды.

Если учесть, что  $T = 1/f$ , то  $\lambda$  представляется в виде

$$\lambda = c / f$$

Это основное соотношение в теории колебаний. Оно справедливо для всех волновых процессов. Отметим важное обстоятельство. Частота  $f$  является характеристикой источника колебаний, возбуждающего волну, скорость  $C$  – константа материала среды, в которой данная волна движется. В силу этого является физически правильной записью соотношения между  $\lambda$ ,  $C$  и  $f$ . Другие математические верные записи формулы ( $f = c / \lambda$  или  $c = \lambda \cdot f$ ) самостоятельного физического смысла не имеют.

## 1.2 Ультразвуковой контроль сварных соединений

Для понимания ультразвукового метода контроля сварных соединений введем основные определения:

**Сварное соединение трубопровода** - неразъемное соединение труб, применяемое сваркой и содержит в себя сварной шов и зону термического действия.

**Сварной шов** - место сварного соединения трубопровода, получившийся путем кристаллизации нагретого металла или путем пластического изменения при сварке давлением.

**Сварка** – самый распространённый способ соединения труб - имеет большой успех перед литьем и соединением основанное путём клепания. Сварные соединения отличаются: стыковое (рисунок 1.3, а, б), нахлесточное (в, г), угловое (д, е), тавровое (ж, з), торцовое (и). Они записываются первыми буквами - С, Н, У, Т и Тр.

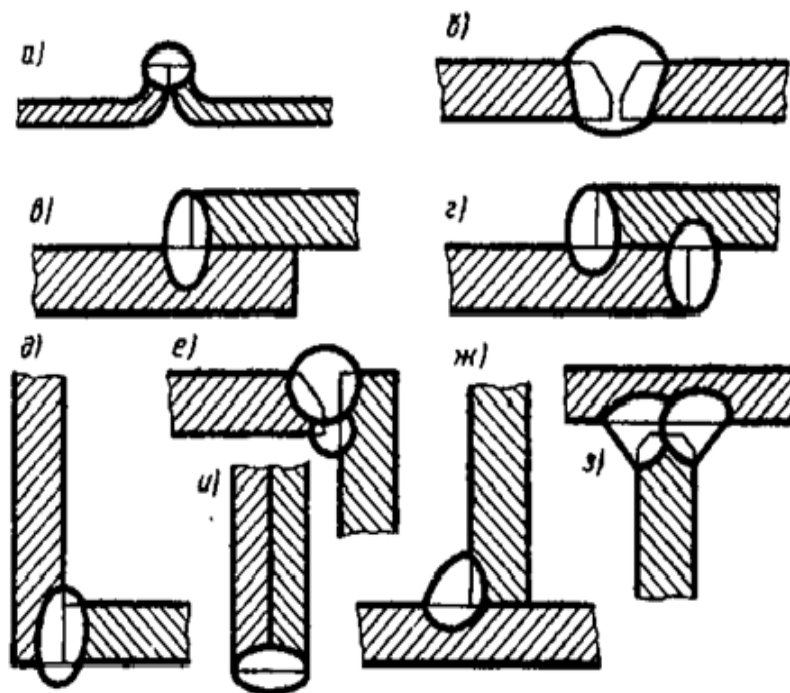


Рисунок 1.3 - Пример сварных соединений

**Стыковое соединение** - Сварное соединение двух деталей, прилегающие одно к другу торцевым путем.

Бывает не мало видов дефекта, для этого в данной дипломной работе дадим два определения часто используемые, это основное определение дефекта, и на основе ГОСТа 14782-86 термин, который применяется в основном в работе неразрушающего контроля сварных соединений.

Дефект - это любое отклонение от требований к продукции и установленным нормативным требованиям предприятия. [2]

Дефект сварного шва – одиночный дефект либо скопление дефектов, которая не соответствует конструкторско-технологической нормативным требованиям и независима по воздействию на сварной шов от других дефектов.

Согласно ГОСТ 30242 (ИСО 6520-82) дефекты делятся на 6 видов:

- трещины
- поры
- твердые включения
- несплавления и непровары
- нарушение формы шва
- прочие дефекты, не включенные в вышеперечисленные группы

Трещины – вид дефекта, вызванный местным изменением шва, который способен появиться путем охлаждения или физическим вмешательством. При этом они делятся на такие виды как: продольные, поперечные, микротрещины, трещина в кратере, радиальные, раздельные и разветвленные.

Все последующие виды несплошностей также делятся на подгруппы, которые описаны в ГОСТ 30242 [2].

Газовые включения - это включения произвольной формы, образовавшееся путем образования газа, оставшееся в расплавленном металле, у которой нет углов.

Газовые поры - это газовое включение в основном сферической формы.

Твердое включение - это инородное вещество металлического или неметаллического происхождения в металле сварного соединения. Дефект, имеющий один острый угол, называются остроугольным включением.

Несплавление - Отсутствие металла между сварным швом и кромками основного металла или между отдельными валиками сварного шва.

Разновидности несплавления:

- по боковой стороне;
- между валиками;
- в корне сварного шва.

Непровар - отсутствие основного металла по всему участку корня сварного шва или на отдельном участке, появившейся путем отсутствия возможности металла проникнуть в корень соединения.

Прочие дефекты – разные виды дефектов, которые не описаны в группе 1-

Бывает два основных способа сварки металлов: плавлением и давлением. Они в свою очередь тоже делятся на подгруппы, все зависит от способов подачи тепла, защиты сварного шва от воздействия воздуха и так далее. Несплошности и разновидности ультразвукового метода контроля сварных швов зависят от вида сварного шва и от способа сварки.

Дуговая сварка стыковых швов – самый распространённый тип сварки для способа сварки при помощи плавления.

В основном все виды несплошностей сварки плавлением хорошо находятся при ультразвуковом контроле, но и имеются отдельный вид дефекта, который слабо выявляется при помощи ультразвукового контроля. Один из разновидностей, плохо выявляемых несплошностей - узкий непровар в корне сварного шва с не плохо подогнанными кромками трубы. При охлаждении шва основной валик такой непровар очень хорошо стягивает, шов кромок изменяется и раскрытие дефекта может быть незначительной величины, начиная с которой акустическая волна заметно проникает через воздушный зазор в металле. Так же не очень хорошо мы можем найти неокисленные непровары (слипания), появившиеся при разновидности сварки путем давления.

Главный способ дефектоскопии стыковых сварных швов - наклонным пьезопреобразователем, поперечной волной. Пьезопреобразователь водим по ровной поверхности контролируемого металла. Принцип заключается в том, что происходит ввод и прием сдвиговых акустических волн, изменением источника и приемника этих волн вдоль основного металла и поперек сварного шва. Найденные дефекты типа непровара, определение их размеров, определением расстояния от преобразователя излучения до найденного дефекта, определением глубины дефекта и промежутков между двух и более дефектов по глубине, определяя диаметр наибольшего дефекта.

Проверка на дефекты, сварных швов листовых конструкций осуществляется наклонными или прямым пьезопреобразователем и единым отраженной волной с одной поверхности изделия. Любой шов проверяется с разных сторон сварного шва.

## **1.2.1 Ультразвуковой контроль стыковых соединений с толщиной шва 3,5..15мм**

Для сварных соединений листовых типов, производится односторонний электродуговой способ сварки возможен наличие дефектов, как и для трубопроводов, непровар, утяжина металла и смещения кромок. В основном по нормативным документам непровар не большой высоты допускается. Эхо-метод может определить высоту данного непровара по полученным эхо-сигналам.

Для ультразвукового контроля сварных соединений не больших толщин лучше всего использовать пьезопреобразователи с большими углами ввода в призме, а именно  $53...55^\circ$  и не большой стрелой. Рабочий диапазон 4...5 МГц.

Основной проблемой при ультразвуковом контроле односторонних швов является настройка дефектоскопа от ложных сигналов. При нахождении акустической волны на утяжину появляются как волны, отраженные в грани утяжины, удовлетворяющей требованиям нормального падения волны на поверхность утяжины, так же волны, отражающиеся от изломов корня. Это влияет на появление в экране дефектоскопа помехи эхо-сигналов от наших дефектов при проверке прямой волной, равны по времени с эхоимпульсами, отраженными от утяжины, найденные однократно отраженной волной. Из-за этого эффективный диаметр ультразвуковой волны соизмерим с толщиной изделия, то отражатель не может определить по расположению пьезопреобразователя относительно валика сварного шва.

При таком контроле на дефект, находящиеся в плоскости акустической контроля, волны проникают под углом, схожи к третьему критическому, и появляются дифрагированные волны, получаемые обоими пьезопреобразователем. Эквивалентная площадь границ трещин в изделиях толщиной 10 мм является от 1,8 до 2,5 мм<sup>2</sup>, что дает нам с легкостью их находить. По соотношению эхоимпульсов от одного к другому пьезопреобразователю можно определить тип дефекта (плоскостной или объемный).



Двусторонние швы с хорошей шероховатостью и пологими валиками усиления позволяет проверять сварное соединение при многократном отражении акустической волны, что гораздо облегчает методику ультразвукового контроля. В данном случае прохождение акустической волны в листе содержит волноводный характер, позволяя находить непровар.

### 1.2.2 Ультразвуковой контроль стыковых соединений толщиной шва 16...40 мм

В сварных соединениях, сделанные односторонней сваркой, много влияний на получение ложных сигналов от утяжин в корне. Допустим требования сварки таковы, что утяжины отсутствуют или они редко появляются, то ультразвук делается одним пьезопреобразователем прямым и однажды отраженной волной за один поиск. Рекомендуется применение стандартного пьезопреобразователя угол ввода  $50^\circ$ , частотой 2,5 МГц. Допустим ложные эхо-сигналы от провисаний большие, то для улучшения помехоустойчивости ультразвуковой контроль лучше проводить отдельно, то есть один пьезопреобразователь в корневой, а другой для остальных частей шва. Лучше всего верхнюю часть сварного шва проверять при помощи пьезопреобразователями углом ввода  $40^\circ$ . В односторонней сварке без подварки листовых изделий в основном присутствует весьма плохое качество. В сварке в корне шва появляется утяжина и мениски не плохой величины от 3 до 5 мм. Проверка на наличие дефектов корневой зоны данных швов осуществляется только после устранения всех неровностей при помощи шлифовальной машинкой.

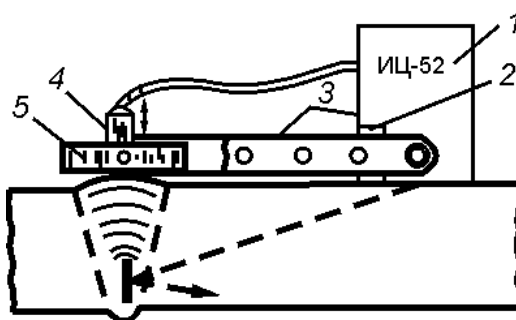


Рисунок 1.4 - Устройство для контроля дельта - методом:

1 - наклонный ПЭП; 2 - ограничитель; 3 - кронштейн; 4 - приемник  
продольных волн.

Односторонний непровар выявляется созданием однажды отраженного эхо-сигнала с параметрами, соответствующими нахождению его на одной из границ валика сплавления с отличимой высотой. С одной стороны, непровар проявляется значительными неровностями, что позволяет создавать эхоимпульс большой амплитуды. При контроле со стороны данного металла механически обработанная и наличием несплавления кромки листа в основном зеркально отражает акустическая волна. Акустическая волна может отразиться лишь от отдельных граней неровных участков. Односторонний непровар рядом, находящийся с одной из поверхности изделия лучше всего выявляется при поиске с противоположной стороны шва. В таком случае эхоимпульс и его скачек на экране выше, так как присутствует угловой эффект.

Во избежание неоправданной браковки следует использовать разные информативные признаки. Все же хорошо может помочь дефектоскописту в правильной расшифровке качества сварного шва, умение определять информативные признаки. На производстве при поиске дефектов толстостенных трубопроводов или сосудов всегда появляется одна не хорошая проблема. Нашли дефект, распилили сварной шов, заварили, термообработали. Проводим повторный ультразвуковой контроль, и находим недопустимые дефекты, которые не были выявлены при первичном контроле. [3]

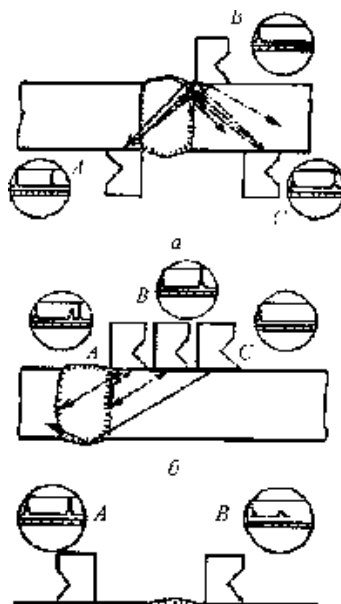


Рисунок 1.5 - Обнаружение дефектов таких как непровар и трещины:  
 а - от одностороннего непровара; б - от двустороннего непровара;  
 в - от трещины и непровара

При хорошем поиске дефектов причина этой проблемы одна. В любом сварном шве присутствуют маленькие трещины с наименьшим раскрытием, которые не находятся при требуемых параметрах ультразвукового контроля. При этом в процессе ремонта и термообработки данного участка проводят неравномерный нагрев сварного шва, появляются локально напряженные участки и попавшие в данные участки маленькие трещины вследствие чего раскрываются и изменяются в размере. После нахождения недопустимой несплошности объяснить сварщикам и другим заинтересованным людям ситуацию, которая может произойти. И предложить проверить еще раз сварной шов целиком на повышенной чувствительности относительно требуемой по нормативным документам и за один цикл отремонтировать все выявленные дефекты, найденные при штатном и нашем уровне чувствительности, а потом произвести контроль на требуемом уровне чувствительности.

Главная проблема дефектоскопии — это поиск дефектов в местах пересечённых сварных швов в листовых изделиях. В этих изделиях

присутствует наибольшее трещинообразование и высокий уровень напряжения. Следовательно, для таких изделий характерно наличие трещин, в основном поперечных по отношению к любому из перекрестных швов и не выявляемых радиографией. Для важных объектов перекрестные сварные швы с усилением автоматически являются контроле-непригодными. Для них контроль может быть произведен только при отсутствии валика усиления с основным металлом с двух поверхностей изделия.

В таком случае контроль происходит путем поиска дефекта по всей зоне пересечения с направлением луча что и вдоль, что поперек оси сварного шва, а также и под другими азимутальными углами. Если изделие менее ответственное, и его усиление не может быть удаленно контроль проводится прямым углом с разных поверхностей изделия по типу, изображенного на рисунке 1.6.

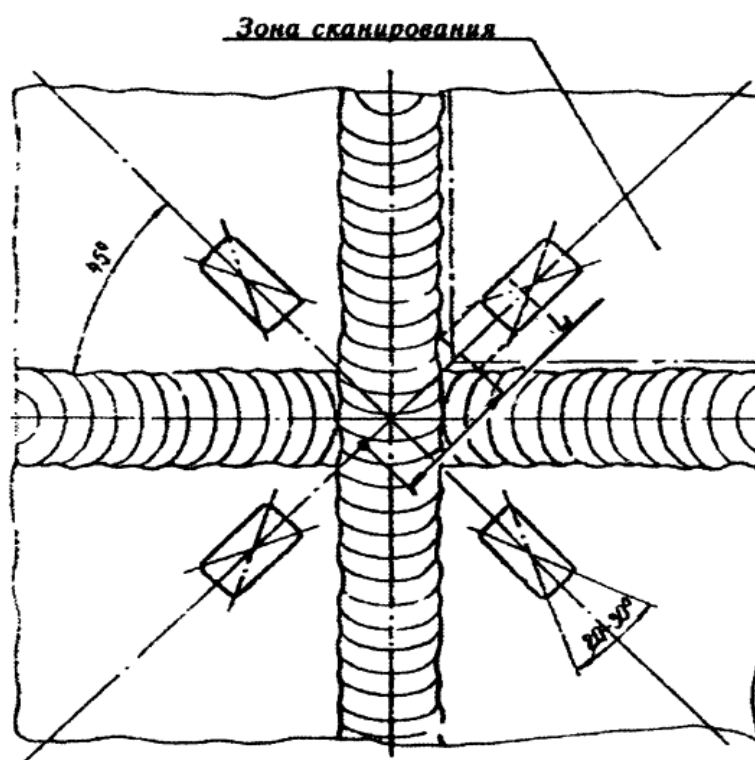


Рисунок 1.6 - схема поиска дефекта при контроле мест пересечения кольцевых и продольных сварных швов.

В основном используются совмещенные наклонные пьезопреобразователи с углом ввода от  $65^\circ$  до  $70^\circ$  и частоты от 4 до 5 МГц. Параметры чувствительности и скорости требуемой развертки следует производить по стандартному образцу предприятия с зарубкой или вертикальным отверстием, находящиеся на расстоянии  $L$  от передней грани пьезопреобразователя и незначительно большим чем до центра пересечения, как изображено на рисунке 1.6. При данном поиске имеется высокий шанс появления ложных эхо-сигналов от граней валиков. В таком случае с грани валика в зоне отражения следует убрать наплывы, чешуйки, и если это не помогает снимаем валик полностью. Для лучшей достоверности контроля рекомендуется использовать наклонные пьезопреобразователь с углом ввода  $90^\circ$ . [4]

### **1.3 Методы ультразвукового контроля сварных соединений**

Ультразвуковой контроль сварных швов – разновидность дефектоскопии для проверки сварных швов на дефекты, получивший большое применение при сборе сварных соединений. Ультразвуковой метод хорошо используется в областях, как машиностроение, железнодорожный путей, трубопроводов нефтяной и газовой промышленности, судостроение. Причина этого высокая чувствительность и точность к нахождению несплошностей, быстрой оперативностью и производительностью, отсутствию вредных факторов, в отличие от радиографического метода контроля.

Для ультразвукового метода используются в основном поперечные и продольные акустические волны. Продольные волны, в основном применяют, если ультразвуковой метод необходимо провести перпендикулярно или при использовании маленького углом к изделию, поперечные – при использовании наклонного пьезопреобразователя, где угол ввода необходимо брать от  $35^\circ$ . Это связано с удобством возбуждения акустической волн: продольные – прямым или не значительным углом ввода, поперечные - наклонным пьезопреобразователем для угла падения свыше  $35^\circ$  от первого до второго критического угла.

Для эхо-зеркального способа пьезопреобразователь подключен по совмещенной схеме, при этом принимает сигналы по отдельной схеме.

### 1.3.1 Эхо - метод

Эхо – метод влияет на регистрации эхоимпульса, отраженного от несплошности. Помимо преимуществ одностороннего доступа у него хорошая чувствительность для нахождения внутренних дефектов, способен с большой точностью показать глубину залегания и месторасположение дефекта. К минусам данного метода нужно отнести сначала маленькую помехоустойчивость к внешним отражателям, большую зависимость эхоимпульса сигнала от найденного дефекта. Данным методом производится контроль около 90 % любых сварных швов толщиной изделия от 4 мм и более. Эхо-метод изображен на рисунке 1.7

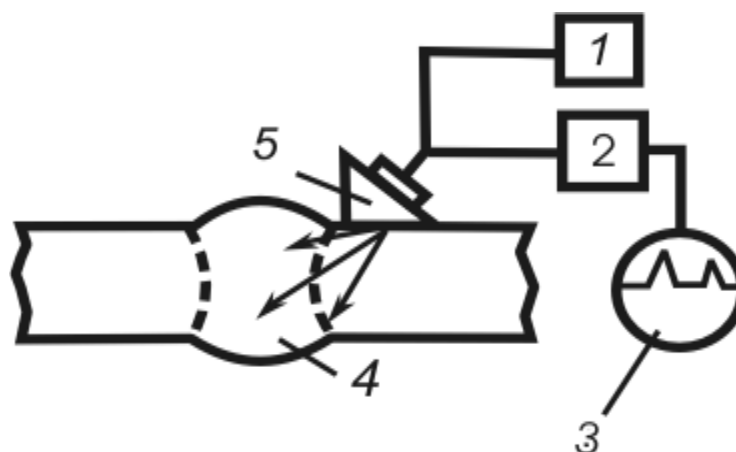


Рисунок 1.7 – Поиск дефектов эхо - методом: 1-генератор; 2-усилитель; 3-индикатор; 4-объект контроля (шов); 5-пьезопреобразователь

### 1.3.2 Теневой метод

Для ультразвукового контроля при помощи теневого метода о найденной несплошности оценивают по уменьшению эхоимпульса акустической волны, пройденным от пьезопреобразователя возбуждающую акустическую волну до приемного пьезопреобразователя. Чем больше параметры несплошности, тем меньше эхосигнал. Излучатель и приемник пьезопреобразователя устанавливаем

соосно на разных поверхностях контролируемого участка. Теневым методом контроля возможен только при наличии двустороннего доступа к контрольному образцу. Для ручного ультразвукового способа данного метода лучше производить контроль сварных соединений ограниченного сечения маленькой толщины изделия. Минусы данного метода являются трудность расположения пьезопреобразователя относительно центральных волн диаграммы направленности, отсутствия точности оценки расположения дефектов и маленькая чувствительность (в 10...20 раз) в сравнении с эхо - методом. Основные плюсы теневого метода, а именно низкая зависимость эхоимпульса от расположения дефекта, хорошую помехоустойчивость и то что в данном методе нет мертвой зоны. Из-за первого плюса этого метода легко найти наклонные несплошности, который отсутствует при прямом отражении эхо-метода. На рисунке 1.8 показан способ установки пьезопреобразователей теневого метода.

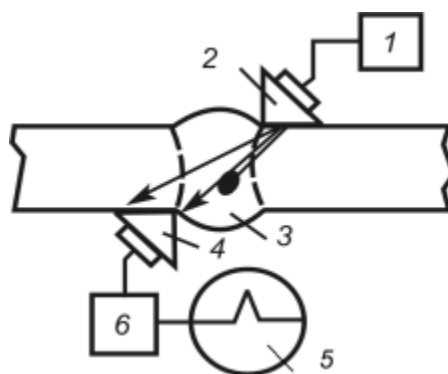


Рисунок 1.8 – Способ контроля теньвым методом: 1 – генератор; 2,4 – пьезопреобразователи; 3-контролируемый объект; 5 – индикатор; 6 – усилитель

### 1.3.3 Зеркально - теневой метод

При зеркально-теневом способе контроля признаком нахождения несплошности является ухудшение амплитуды эхо-сигнала, отразившемся от донной поверхности изделия. Основным плюсом данного метода в сравнении с предыдущим является односторонний доступ и улучшенный поиск дефектов, которые находятся в корне шва. Два эти метода хорошо используются при

проведении дефектоскопии сварных швов арматуры. На рисунке 1.9 показан способ работы зеркально - теневого метода.

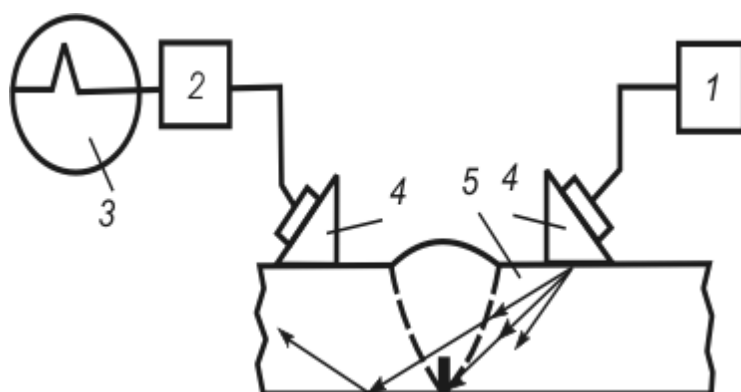


Рисунок 1.9 – Способ работы зеркально-теневого метода:

1- генератор; 2 - усилитель; 3 - индикатор; 4 - пьезопреобразователь; 5 –объект контроля.

2-

### 1.3.4 Эхо - зеркальный метод "Тандем"

Эхо - зеркальный метод лучше всего подходит для обнаружения плоскостных вертикально расположенных несплошностей. Он используется при контроле шва двумя пьезопреобразователями, которые двигают по поверхности основного металла с одной стороны сварного шва таким способом, чтобы получать одним пьезопреобразователем сигнал, возбужденный другим пьезопреобразователем и не однократно отразившийся от несплошности и донной поверхности трубы. Данным способом проводится дефектоскопия трубопровода с эквидистантными поверхностями, но при толщине изделия менее 40 мм, требуются специальные пьезопреобразователи.

Одним из основных плюсов данного метода - является оценка параметров несплошности размером от 3 мм и более, которые расположены в вертикальной оси меньше чем на  $10^\circ$ . Для точной оценки формы несплошностей необходимым требованием будет использование пьезопреобразователя одной чувствительности. Метод более всего распространен при контроле большой толщины изделий, когда нужна хорошая надежность нахождения вертикально-



ориентированных плоскостных несплошностей. На рисунке 1.10 показан способ контроля эхо - метода.

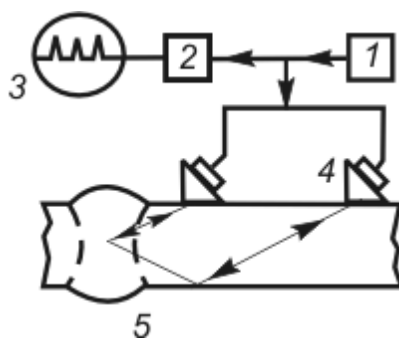


Рисунок 1.10 – Принцип работы эхо - зеркальным методом:

1- генератор; 2 - усилитель; 3 - индикатор; 4 - пьезопреобразователь; 5 – объект контроля.

### 1.3.5 Дельта-метод

В дельта-методе применяется ультразвуковая энергия, отразившееся от несплошности. При попадании на дефект поперечной акустической волны часть отражается зеркально, а часть переходит в продольную, и частично переходит в дифрагированную волну. Часть продольной волны уходит нормально к донной поверхности изделия, отражается и получаем ее прямым пьезопреобразователем. Этот же пьезопреобразователь будет получать компонент продольной дифрагированной волны, отразившееся от верхнего края трещины и проходящая вертикально вверх. К минусам данного метода отнесём требуемую зачистку околошовной зоны, трудности индикации получаемых сигналов для контроля трубопровода толщиной до 15 мм, сложности при калибровке чувствительности и оценке размеров несплошностей. На рисунке 1.11 изображен принцип работы данного метода

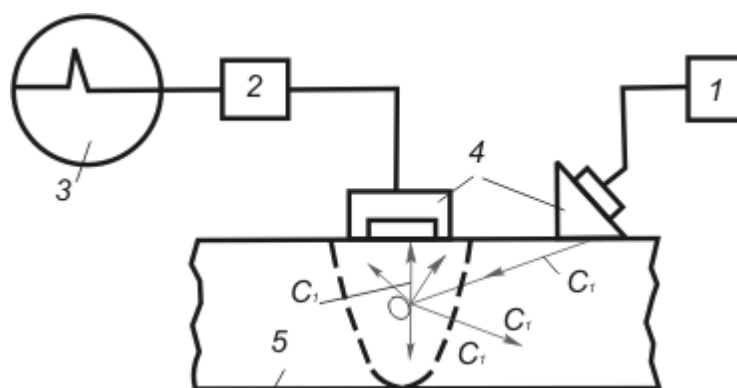


Рисунок 1.11 – принцип действия дельта - методом:  
 - генератор; 2 - усилитель; 3 -индикатор; 4 - пьезопреобразователь; 5 –  
 контролируемый объект.

Изучив каждый способ контроля, очевидно, что использование того или иного метода и его принцип действия на практике, зависит от типа сварки, а также доступа пьезопреобразователя к сварному шву и толщины трубопровода.

#### 1.4 Преимущества и недостатки УК по сравнению с другими методами

Дефектоскопия сварных швов согласно ГОСТ 3242-79 делится на две части: неразрушающий способ контроля и разрушающий способ контроля. Для понимания распишем методы контроля для неразрушающего метода контроля.

Неразрушающий способ контроля, к ним относятся:

1. Визуально-измерительный контроль
2. Радиационный контроль
3. Ультразвуковой контроль
4. Магнитный и электромагнитный контроль
5. Капиллярный контроль
6. Контроль течеисканием
7. Прочие методы.

##### 1.4.1 Основные плюсы ультразвукового контроля:

1 Взаимодействие акустической волны непосредственно на найденную несплошность контролируемого объекта. Все остальные виды контроля

используют утверждения, полагаясь на косвенное воздействие несплошности на электромагнитное поле. Совсем иначе у нас с ультразвуковым контролем: явление прохождения акустических волн связано с упругими связями в объекте контроля. В основном упругие связи предоставляют прочность объекта контроля. Происхождение несплошности нарушает прочность и вызывает отражение акустической волны. Благодаря этому ультразвук может находить трещины раскрытием от  $10^{-5}$  до  $10^{-4}$  мм, а еще находить несплошности не только газового происхождения, а путем попадания другого вещества в сварное соединение.

2 Разновидность контроля объектов из разных по составу металлических и неметаллических материалов, не имея значения от электропроводности детали.

3 Возможность акустической волны проникать в изделие с однородным мелкозернистым составом на толщину изделия в несколько метров и находить в них несплошности - самая большая толщина изделия среди всех методов для неразрушающего контроля.

4 Способен выявлять не только поверхностные, но и внутренние несплошности. Все остальные методы контроля могут выявить только поверхностные и подповерхностные несплошности.

5 Отсутствия вредных воздействий на рабочий персонал и окружающую среду в сравнении с радиографическим методом контроля.

6 Не значительные затраты на проведение контроля. По мимо контактной жидкости, а еще весьма долговечных пьезопреобразователей затраты на расходные материалы не нужны.

7 Способность проводить контроль, на высоте, в разном диапазоне погодных условий, например, в зависимости от дефектоскопа можно проводить контроль при минусовой температуре.

8 Легок в эксплуатации. Ультразвук уступает только капиллярному и магнитопорошковому методу.

#### **1.4.2 Основные минусы ультразвуковых методов, которые относятся прежде всего к высокочастотным методам:**

1 Сложность или отсутствия возможности контроля конструкций из неоднородных, крупнозернистых сплавов.

2 Необходимость требуемой шероховатости поверхности околошовной зоны;

3 Сложность или отсутствия возможности контроля конструкций не больших размеров и трудной конфигурации;

4 После проведения контроля не прилагается документ о ходе проведения контроля и отчета о выявленных дефектах, по сравнению с радиографическим методом на примере рентгеновской пленки в которых видны все выявленные дефекты;

5 Сложности или отсутствия возможности определить тип несплошности и узнать реальные размеры дефекта.

Отмеченные минусы ультразвукового метода в значительной степени решаются благодаря техническому прогрессу нашего времени, а именно современным способам получения, хранения и передачи информации. [5]

## **2 Результат сравнительного анализа методов и средств ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов**

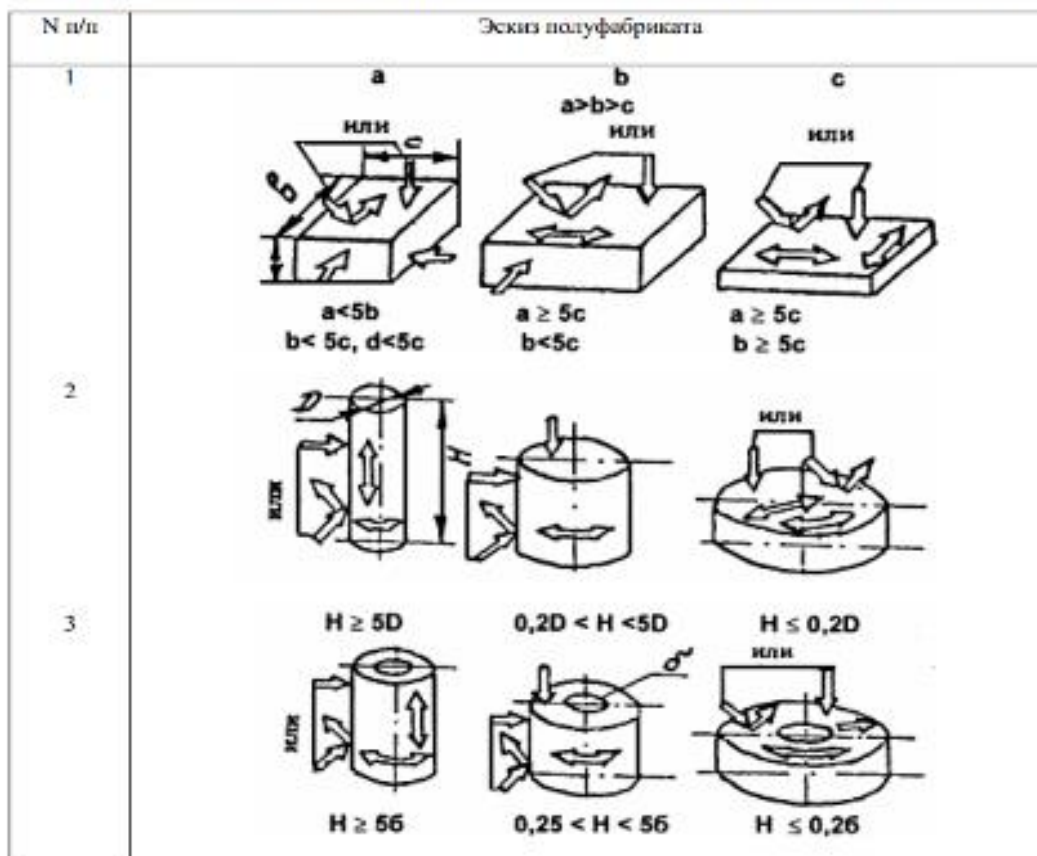
### **2.1 Сравнительный анализ известных методик ультразвуковой дефектоскопии для контроля трубопроводов**

Ультразвуковой метод контроля трубопроводов проходит с помощью прямого угла ввода совмещенного, прямого угла ввода раздельно-совмещенных, а также наклонных пьезопреобразователей с углом ввода начиная от 35 до 70°. Предпочтительней выбор угла ввода 45°. Ультразвуковой контроль изделия выполняется путем эхо-метода, если использовать прямой совмещенный пьезопреобразователь - используется зеркально-теневым способ, если объект контроля дает возможность получить донный эхоимпульс. Принцип контроля, предоставляет наилучшую достоверность найденного дефекта различных параметров и расположения, необходимо предусматривать контроль каждого простого объема изделия в разных плоскостях и направлениях.

Контроль прямым пьезопреобразователем в любом направлении способен быть обнаружен путем сканирования наклонным пьезопреобразователем в направлении, рядом с требуемым. Принцип работы объекта простой формы показан на рисунке 2.1, там же показан способ замены прямого пьезопреобразователя раздельно-совмещенным и наклонным. Опять же поиск дефектов наклонным пьезопреобразователем производится с разных сторон сварного шва с разворотом пьезопреобразователя на 180°.

Цилиндрические заготовки показаны на рисунке 2.1 (поз.3а и3б) проводим по хорде наклонным либо прямым пьезопреобразователем с насадкой так что бы угол ввода способствовал прохождению акустического пучка продольных или поперечных волн в прохождении, рядом к касательной к донной цилиндрической поверхности изделия.

**Направление и способы прозвучивания при контроле поковок, отливок и сортового проката плоских заготовок (плит, брусьев, дисков) и цилиндров (валов, колец, обечаек)**



Примечание.  $\Downarrow$  - прямой преобразователь;  $\Downarrow \Rightarrow$  - раздельно-совмещенный;  $\Leftrightarrow$  - наклонный с разворотом на 180°.

Рисунок 2.1– Принцип поиска дефекта в заготовках

Основная разновидность несплошности в ковке это газовые поры, усадочные раковины, трещины и другие расположенные вдоль оси сварного шва - продольные несплошности. Меньше всего попадают несплошности, которые расположены поперек оси сварного шва - поперечные несплошности. Могут быть дефекты, параллельные кромкам трубы, типа расслоения. Они в основном выявляются на одной из поверхностей, следовательно, могут быть выявлены при поиске на продольные или поперечные несплошности.

Из-за того, что основные несплошности продольные, акустическую волну проникает в поперечной плоскости как показано на рисунок 2.2. В основном продольные акустические волны из призмы пьезопреобразователя ставят под углом к изделию. Получается, что преломление в стенке изделия появляется

поперечная акустическая волна под углом ввода  $\alpha$ , которая отражается от продольных несплошностей.

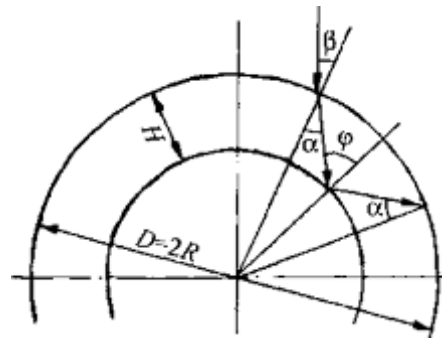


Рисунок 2.2– Введение поперечной волны в цилиндрическое изделие.

При ультразвуковом контроле отливки используют такие методы как эхо-метод, эхо-теневой метод, зеркально-теневой метод.

На мониторе дефектоскопа появляется информацию двух параметров. Горизонтальная полоса равна времени пробега волны в контролируемом объекте, что нам дает затраченное время пропорционально пройденному пути акустической волны. Высота сигнала пропорциональна амплитуде эхоимпульса.

На рисунке 2.3 изображена схемы контроля с помощью эхо-методом, совмещенным пьезопреобразователем на продольные, поперечные несплошности и несплавления. Этот принцип контроля используют больше всего. Контроль способов изображен на рисунке 2.3, а и б проводится с применением поперечных или нормальных акустических волн.

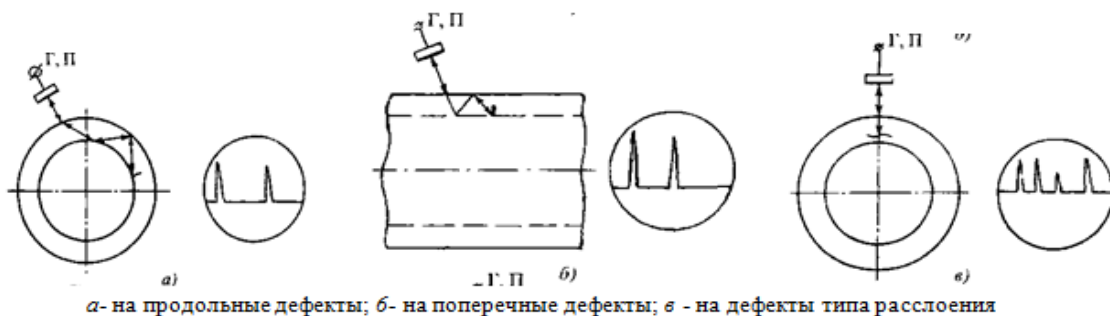


Рисунок 2.3– Принцип работы эхо-методом совмещенным пьезопреобразователем

При обследовании поковок рекомендуется применение хордового

сканирования, которое выполняется для поиска трещин и пор, выходящих на поверхность трубопровода (рисунок 2.4):

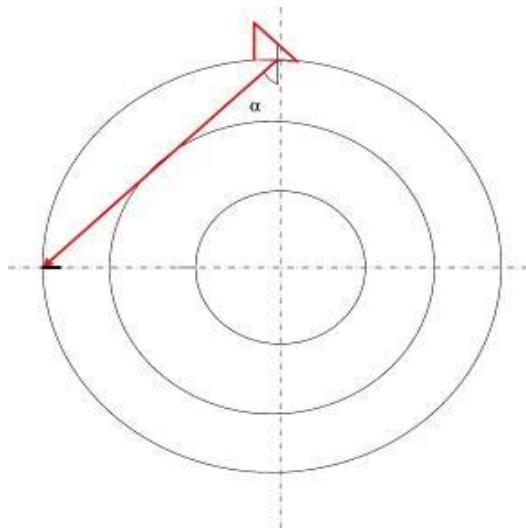


Рисунок 2.4—Хордовое сканирование

Еще при поиске трещин, пор и раковин следует пользоваться следующим способом сканирования прямым пьезопреобразователем (рисунок 2.5):

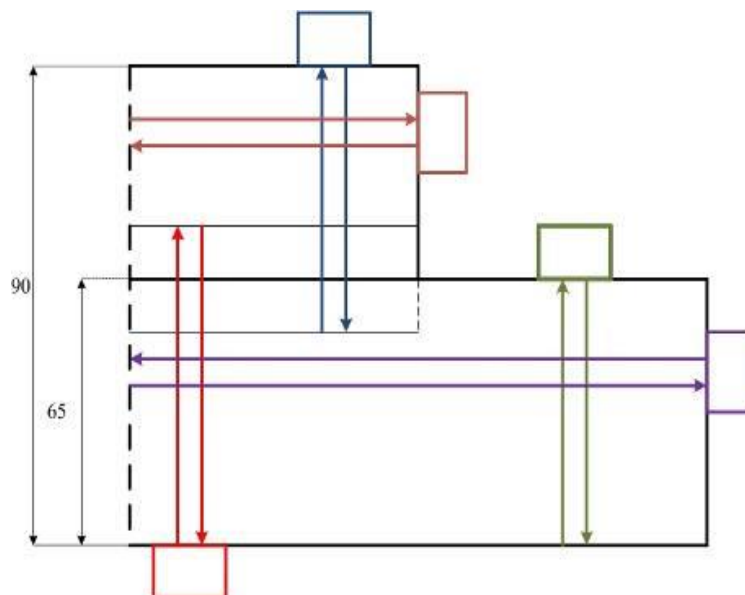


Рисунок 2.5—Принцип ввода акустической волны прямого пьезопреобразователя для поиска трещин, пор и раковин.

Лучше всего при контроле трубопроводов для нахождения наклонных трещин и трещин, которые выходят на поверхность контролируемого объекта



использовать эхо-метод, взяв наклонный раздельно-совмещённый пьезопреобразователь с акустической задержкой, но для поиска раковин и продольных трещин, берем прямой пьезопреобразователь для уменьшения пути акустической волны в объекте [6].

## 2.2 Выбор метода контроля (теоретический анализ акустического тракта)

Сравнив существующие методы поиска дефектов, получаем следующие выводы:

- поиск несплошностей типа внутреннего дефекта, расположенные вдоль оси объекта необходимо проводить контроль прямым пьезопреобразователем эхо-методом;

- поиск трещин, расположенных перпендикулярно оси шва требуется проводить контроль наклонным пьезопреобразователем по хорде и еще прямым пьезопреобразователем с торца трубы.

При поиске дефектов отливки лучше применять хордовое сканирование, которое предназначено для нахождения трещин и пор.

Формула для определения амплитуд ультразвуковых эхо-сигналов наклонного пьезопреобразователя для двугранного угла:

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = \sqrt{2} \frac{D_u \cdot S_a \cdot \cos \alpha}{[\lambda \cdot (r + r_3)]^2 \cdot \cos \beta} \cdot E \quad (2.1)$$

где  $S_a$  – площадь преобразователя, равная  $S_a = \pi \cdot a^2$ ,

$a$  – радиус преобразователя;

$b$  – радиус дефекта;

$\lambda_l$  – длина волны;

$r$  – путь волны в объекте контроля, от точки излучения до отражения;

$r_3$  – приведенный путь волны в призме преобразователя;

$\alpha$  – угол ввода волны;

$\beta$  – угол наклона призмы;

$D_{lt}$  – коэффициент прохождения через границу раздела.

Коэффициент прозрачности  $D_{lt}$  для прошедшей продольной волны можем посчитать по формуле

$$D_{lt} = \frac{4 \cdot Z_t \cdot Z_l \cdot \cos^2(2 \cdot \alpha)}{(Z_l \cdot \cos^2(2 \cdot \alpha) + Z_t \cdot \sin^2(2 \cdot \alpha) + Z_l)^2}, \quad (2.2)$$

где  $Z_l$  и  $Z_t$  – удельные волновые сопротивления нижней среды для прошедших продольной и сдвиговой волн соответственно;

$Z_l$  – удельное волновое сопротивление верхней среды;

При определении расстояния от пьезопреобразователя до несплошности в плоскости падения волны разрешается пьезопреобразователь заменить ложным излучателем. Площадь ложного пьезопреобразователя будем находить по формуле:

$$S'_a = \pi \cdot a^2 \cdot \cos(\alpha) / \cos(\beta), \quad (2.3)$$

Приведенный путь ультразвука в призме преобразователя  $r_{\Pi}$  будет равен

$$r_3 = \frac{r_{30} \cdot C_{III} \cdot \cos \alpha}{C_t \cdot \cos \beta}, \quad (2.4)$$

где  $C_{III}$  – скорость продольной волны в материале призмы;

$C_t$  – скорость поперечной волны в материале объекта контроля;

$r_{30}$  – действительный путь ультразвука в призме преобразователя.

Функция затухания  $E$  при падении прямого луча имеет следующий вид

$$E = e^{-2(\delta r + \delta_n \cdot r_{30})}, \quad (2.5)$$

где  $\delta_n$  – коэффициент затухания в материале призмы;

$\delta$  – коэффициент затухания в материале объекта контроля.

Уравнение акустического тракта наклонного преобразователя для сферы диаметром  $2b$  имеет следующий вид :

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = \frac{D_{lt} S_a b \cos \alpha}{2 \lambda_l (r + r_3)^2 \cos \beta} E, \quad (2.6)$$

где:  $\left| \frac{P}{P_0} \right|$  - суммарное ослабление ультразвука в акустическом тракте;

$r_3$  - путь ультразвука от мнимой пьезопластины до точки ввода в изделие;

Несплошность типа раковины моделируется при помощи сферы диаметром  $2b$ . В таком случае искусственным отражателем будет глухое отверстие со сферическим дном.

Формула для нахождения амплитуд акустических эхо-сигналов наклонного пьезопреобразователя для диска:

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = D_{it} \cdot \frac{\pi^2 \cdot a^2 \cdot b^2 \cdot \cos \alpha}{\cos \beta \cdot \lambda_1^2 \cdot (r + r_3)^2} \cdot E \quad (2.7)$$

Еще для поиска дефекта поковки используют прямой пьезопреобразователь.

Формула для нахождения амплитуд ультразвуковых эхо-сигналов от сферического отражателя диаметром  $2b$ :

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = \frac{b S_a}{2 \lambda r^2} \cdot \exp[-2(\delta r)] \quad (2.8)$$

где:  $b$  - радиус сферы;

Формула для нахождения амплитуд ультразвуковых эхо-сигналов от дискового отражателя диаметром  $2b$ :

$$\left| \frac{P}{P_0} \right| = \frac{S_b S_a}{\lambda^2 r^2} \cdot \exp[-2(\delta r)] \quad (2.9)$$

В этом разделе был предоставлен и аргументирован выбор эхо-метода контроля, сделан предварительный анализ акустического тракта для разных групп дефектов и возможных схем сканирования объекта контроля и получены его формулы. [7]

### 2.3 Анализ дефектоскопов

В этом разделе будут рассмотрены основные технические устройства, используемые в промышленности при ультразвуковом контроле.

УСД-60. Ультразвуковой дефектоскоп УСД-60 (UCD-60) поиска дефектов в металле, пластмассе и других однородных материалов (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 - Ультразвуковой дефектоскоп УСД-60

Новый универсальный ультразвуковой дефектоскоп USD-60 позволяет воспользоваться всем богатством возможностей современной цифровой техники: выводить сигнал в виде А, В, С -сканов, подключать датчик пути для построения координатной развертки изделия. Дефектоскоп УСД-60 позволяет измерять толщину изделий с высокой точностью и коррекцией V-образности, проводить ручной, автоматизированный контактный и иммерсионный (специальная и-зона) контроль.

Отличительные особенности ультразвукового дефектоскопа УСД-60, приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 -Отличительные особенности УЗ дефектоскопа УСД-60

Дисплей	Цветной TFT 135 x 100 мм (640 x 480 точек)
Усилитель	широкополосный 0.4 - 20 МГц
Работа с кривой амплитуда-расстояние	измерение уровня сигнала в дБ относительно кривой и режим АСД по кривой АРК
Частота повторения ЗИ	до 2000Гц
Измерение спектра сигнала	
Зоны контроля	три независимых, с индивидуальной логикой определения дефекта
Вывод сигналов в виде А-, В-, С- сканов	

Технические характеристики ультразвукового дефектоскопа УСД-60 указаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2-Технические характеристики УСД 60

Развертка: с шагом 0,01 / 0,1/ 1/ 10/ 100 мкс	мин.: 0 - 2,67мкс
	макс.: 0 - 1000 мкс
Задержка:	от -4 мкс до 1000 мкс, с шагом 0,01 / 0,1/ 1/ 10/ 100 мкс
Диапазон скоростей:	1000 - 9999 м/с
Задержка в призме	- 100 мкс, с шагом 0,01 / 0,1/ 1 и 10мкс
Демпфирование	25 ом / 50 ом/ 1000 Ом
Входной импеданс	50 Ом / 600 Ом
Зондирующий импульс	радиоимпульс, с амплитудой 50 или 200 В, с изменяемой длительностью от 16 до 500 нс, с шагом 16 нс
Демпфер зондирующего импульса	регулируемый от 0 до 15 полупериодов с задержкой демпфирования от 0 до 7 полупериодов
Частота повторений ЗИ	регулируемая от 20 до 2000Гц, с шагом 1/ 5/ 10 или 100Гц
Усилитель	широкополосный 0.4-20 МГц (-6 дБ)
Диапазон регулировки усиления	100 дБ, с шагом 0.5, 1, 2 или 6 дБ
Временная Регулировка Чувствительности (ВРЧ)	диапазон до 70 дБ, 12 дб/мкс, с построением кривой по 32 опорным точкам, введенным вручную или от контрольных отражателей

УД2-70. Предназначен для контроля продукции на наличие дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов, готовых изделий, полуфабрикатов и сварных (паяных) соединений, измерения глубины и координат залегания дефектов, измерения отношений амплитуд сигналов, отражённых от дефектов. Внешний вид указан на рисунке 2.7 .



Рисунок 2.7 – Внешний вид дефектоскопа УД2-70

Дефектоскоп УД2-70 возбуждает преобразователи одним экспоненциальным импульсом отрицательной полярности, амплитуда запускающего

импульса не менее 185 В при длительности 75 нс. Рабочая частота УЗ колебаний, а также амплитуда и длительность зондирующего импульса зависят от подключенного преобразователя. Совместно с прибором используются, как правило, преобразователи имеющие встроенную индуктивность. Отдельного архива для хранения параметров преобразователей нет, все параметры контроля хранятся в архиве настроек на контроль конкретных изделий, емкостью 100 настроек. Дефектоскоп УД2-70 постоянно находится в раздельном режиме, совмещенный режим работы реализуется при помощи специального кабеля, поставляемого вместе с прибором.

В дефектоскопе УД2-70 предусмотрено два основных режима: основное меню и рабочий режим. Основное меню позволяет выбрать необходимое рабочее или специальное подменю, а рабочий режим предназначен для настройки параметров контроля и его проведения.

Основные технические параметры указаны в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Основные технические характеристики дефектоскопа УД2-70

Параметр	Ед. изм	Значение
Рабочие частоты	МГц	1,25; 1,8; 2,5; 5,0; 10,0
Диапазон контроля (по стали)	мм	0...5000
Диапазон усиления приёмного тракта	дБ	100
Динамический диапазон временной регулировки чувствительности (ВРЧ)	дБ	60
Абсолютная погрешность при измерении глубины залегания дефекта	мм	$Hx \pm (0,5 + 0,02Hx)$
Абсолютная погрешность при измерении отношения амплитуд сигналов	дБ	$Hx \pm (0,2 + 0,03Hx)$
Время непрерывной работы от аккумуляторной батареи	ч	не менее 8
Масса дефектоскопа	кг	не более 3,5 г
Габаритные размеры (без ручки)	мм	245x145x75

A1212 мастер профи. Ультразвуковой дефектоскоп A1212 МАСТЕР ПРОФИ - полностью цифровой, малогабаритный ультразвуковой дефектоскоп общего назначения. Обеспечивает реализацию типовых и специализированных методик ультразвукового контроля, высокую производительность и точность измерений. Внешний вид дефектоскопа указан на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Внешний вид дефектоскопа А1212

Назначением прибора являются контроль сварных швов, поиск мест коррозии, трещин, внутренних расслоений и других дефектов, определение координат и оценка параметров дефектов типа нарушений сплошности и однородности материала в изделиях из металлов и пластмасс, измерение толщины изделия. [8]

Таблица 2.4 – Основные технические характеристики дефектоскопа А1212

Параметр	Значение
Максимальная толщина объекта контроля (по стали)	3500 мм
Рабочие частоты	0,5÷15,0 МГц
Динамический диапазон дефектоскопа не менее	100 дБ
Диапазон изменений интервалов времени дефектоскопа	1÷1200 мкс
Диапазон настроек скорости ультразвука	1000÷15000 м/с
Полоса частот приемного тракта	0,14÷21 МГц
Диапазон перестройки аттенюатора	0÷90 дБ
Динамический диапазон ВРЧ не менее	30 дБ
Параметры зондирующего импульса:	
- число периодов	0,5÷5
- амплитуда (половина размаха)	20, 100, 200 В

Параметр	Значение
- длительности фронтов не более	20 нс
- частота повторения зондирующих импульсов	5÷200 Гц
Тип дисплея	жидкокристаллический
Количество точек экрана	320 x 240
Размеры отображающего поля экрана	77 x 58 мм
Питание (встроенная аккумуляторная батарея)	7,2 В
Время непрерывной работы (с подсветкой, с подогревом)	15 ч (12 ч, 2 ч)
Диапазон рабочих температур	от -20°С до +50°С
Габаритные размеры	245 x 120 x 40 мм
Масса электронного блока	650 г

Особенности дефектоскопа А1212 Мастер Профи: максимальное запоминание сигналов на экране дисплея; автоматическое определение координат дефектов и уровней сигналов во время работы с АСД; использование экранного курсора для ручного измерения координат и уровней принятых сигналов; встроенные АРД-диаграммы с автоматическим расчетом площадей дефектов, предназначенные для совмещенных преобразователей; программируемая форма и регулируемая частота посылки зондирующего импульса; построение по свободному закону функции ВРЧ (32-х точечных интерполяций); построение развертки типа «В»; дополнительные режимы: «временная электронная лупа» и «стоп – кадр»; наличие режимов толщиномера; совместимость с большим спектром преобразователей от различных производителей.

USLT 2000. Ультразвуковой дефектоскоп на базе стандартного компактного компьютера (ноутбука), бытового или промышленного исполнения, для решения общих задач дефектоскопии, в частности при повышенных требованиях к качеству контроля и документирования. Внешний вид показан на рисунке 2.9.





Рисунок 2.9 – Внешний вид дефектоскопа USLT 2000

Характеристики дефектоскопа:

- Высокая точность измерения и широкий диапазон рабочих частот;
- разрешающая способность, сопоставимая с аналоговыми приборами и высокая частота смены изображения;
- многообразие возможностей при воспроизведении изображения сигналов;
- универсальность в методах оценки результатов в соответствии с национальными или международными правилами контроля: АРД-кривые, временная регулировка чувствительности, АРК;
- оболочка управления под WINDOWS и использование всех возможностей WINDOWS;
- запоминание и воспроизведение параметров настройки и результатов контроля в банке данных;
- отношение "пользователь - центральный пункт" через стандартные интерфейсы для специализированной обработки данных;
- комплектация специальной программой и специальными преобразователями для контроля качества точечной сварки.

Таблица 2.5 – Основные технические характеристики дефектоскопа

Параметр	Значение
Частотный диапазон:	0,5 - 20 МГц, 2 узкополосных диапазона, широкополосный и высокочастотный диапазоны
Диапазон калибровки по глубине:	мин.: 0 - 2,5 мм, макс.: 0 - 10 000 мм (при С=5920 м/с)
Скорость звука:	1000 - 15000 м/с
Смещение по горизонтали:	- 10 - 1000 мм
Регулировка усиления:	0 - 110 дБ, ступенями 0,5/1/2/6/24 дБ
Частота следования импульсов:	макс. 1000 Гц, зависит от диапазона развертки и зоны действия АСД, плавная регулировка;
Форма представления сигналов:	двух- или однополупериодное детектирование по положительной или отрицательной полуволне; ВЧ-представление (до 150 мм по стали)
Отсечка:	0 - 90% высоты экрана
Измерение расстояний:	для каждого стробирующего импульса по фронту или максимуму сигнала, по переходу через "0" для двух ВЧ-сигналов
ВРЧ:	до 16 опорных точек, динамический диапазон 40 дБ, крутизна 6 дБ/мкс, работа с АРК, ВРЧ
Запоминание изображения на экране:	статическое, динамическое, усреднение по 2 - 32 сигналам
Размер изображения (полного):	199 мм x 123 мм (стандартный ПК); 186 мм x 115 мм (промышленный ПК)
Запоминание данных:	в банке данных Access на жестком диске
Выходы:	документирование через стандартные выходы в ПК Notebook
Размеры:	63 x 300 x 230 мм (стандартный Notebook); 70 x 255 x 310 мм (промышленный Notebook)
Масса (в комплекте):	3,8 кг (стандартный Notebook); 5,7 кг (промышленный Notebook)

USM35. Этот дефектоскоп представляет собой усовершенствованную версию популярной модели USM 25. В этом приборе применен современный цветной ЖК-индикатор с высокой контрастностью, большим углом обзора, беспараллаксной сеткой (рисунок 2.10).

Использование цветного индикатора позволяет путем смены цвета изображения сигналов отобразить способ выявления дефектов - прямым или отраженным лучом.

Применение литиевых батарей со встроенным зарядным устройством для

14 часов непрерывной эксплуатации.



Рисунок 2.10 – Внешний вид дефектоскопа

Применение цветного индикатора также позволило:

- Улучшить подсветку индикатора в соответствии с условиями освещенности на месте проведения контроля.
- Обеспечить лучшую индикацию кривой браковочного уровня из
- Ввести различные цвета для стробирующих импульсов АСД для их лучшего распознавания. Класс защиты IP66

Технические данные

Частотный диапазон: 0,2 - 1 МГц, 0,5 - 4 МГц, 0,8 - 8 МГц, 2 - 20 МГц

Диапазон калибровки по глубине: 0 - 0,5 мм + 10%, 0 - 9999 мм + 10% (для диапазона 0,2 - 1 МГц, 0,5 - 4 МГц), 0 - 1420 мм + 10% (для диапазона 0,8 - 8 МГц, 2 - 20 МГц).

Задание скорости звука: 1000 - 15000 м/с, пошагово по 1 м/с.

Задержка сигналов: - 10 до 1000 мм.

Регулировка усиления: 0 - 110 дБ ступенями 0,5;1;2;6;12 дБ (0 - блокировка изменения усиления), плавная регулировка.

Частота следования: 8 - 1000 Гц, 10 положений регулировки.

Форма представления эхо-сигналов: двухполупериодное детектирование, детектирование по положительной или отрицательной полуволне, ВЧ-сигнал (до 50мм).

Отсечка: Линейная 0 - 80% высоты шкалы экрана с шагом 1 %.

Оценка параметров эхо-сигналов: измерение пути прохождения и разницы расстояний по фронту сигнала, измерение амплитуды сигналов в % от высоты экрана, глубина залегания и расстояние до проекции дефекта на поверхность, измерения по фронту или пику сигнала, USM 35X DAC - амплитуда в дБ относительно кривой амплитуда-расстояние, USM 35X S – в дБ относительно АРД или как диаметр дискового отражателя относительно кривой.

Разрешающая способность: 0,01 мм до 99,99 мм, 0,1 мм от 100,00 мм до 999,9 мм, 1,0 мм свыше 1000,0 мм.

Индикатор: Цветной ЖК TFT-индикатор, 116 x 87 мм, 320 x 240 точек.

Интерфейс: RS 232, ввод и вывод данных.

Выходные сигналы: синхронизация, срабатывание АСД.

Встроенная память: 200 блоков параметров настройки, включая изображение, комментарий, просмотр изображения, каталог. Доп. память для всех типов USM 35: запоминание до 5000 считываний толщин и до 500 изображений сигналов с разбивкой по объектам (до 100) с 10-ю комментариями на объект, привязка объекта к блоку параметров.

Рабочие температуры: 0...+50°C/-20...+55°C по результатам дополнительных испытаний

Питание: Литиевые батареи (14ч) или 6 NiCd аккумуляторов, сухих батарей или от сети

Размеры (ВхШхГ): 100 мм x 255 мм x 177 мм

Масса: 2,2 кг с источниками автономного питания

УД4-76. Ультразвуковой дефектоскоп-томограф общего назначения УД4476, с большим высококонтрастным TFT дисплеем, предназначен для контроля продукции на наличие (обнаружение) дефектов типа нарушения сплошности и однородности материалов, изделий и полуфабрикатов, сварных соединений, измерения отношения амплитуд сигналов от дефектов, глубины и координат их залегания. Функция томографа позволяет отображать и сохранять результаты контроля в виде Б сканов с привязкой к пути сканирования.

Дефектоскоп также решает задачу измерения толщины изделий при одностороннем доступе. Включено несколько режимов работы с АРД диаграммами, что позволяет удобно и быстро определять эквивалентные размеры дефектов. Внешний вид указан на рисунке 2.11 [8].



Рисунок 2.11 – Внешний вид дефектоскопа УД4-76

Ультразвуковой дефектоскоп УД4-76 адаптирован и полностью соответствует требованиям нормативной документации, действующей в различных производственных секторах, таких как: атомная энергетика, металлопроизводство, трубная промышленность, железнодорожный транспорт и т.д.

Особенности дефектоскопа:

- работа с любыми типами пьезоэлектрических преобразователей;
- измерение эквивалентных и условных размеров дефектов;
- функция «толщиномер»;
- развертки типа А-скан, В-скан;
- синхронизация: внутренняя, внешняя, от датчика пути;
- контроль скорости сканирования;
- различные формы детектирования: РЧ / 2п.п. / +п.п. / -п.п.;
- набор функций регулировки усиления, в том числе АРУ, ВРЧ;
- интерфейс автоматической калибровки параметров ПЭП и объекта контроля;
- несколько режимов работы с АРД диаграммами;

- два независимых трехуровневых измерительных строба;
- два дополнительных специальных строба;
- возможность контроля акустического контакта;
- система АСД по всем уровням стробов;
- индикация АСД на ярких трехцветных светодиодах;
- усовершенствованный режим пиковой кривой;
- режим наложения текущего сигнала на зафиксированный ранее (режим «стоп-кадр»);
- построение спектра сигнала;
- динамическое изменение характеристик генерирующего тракта в зависимости от включаемых частотных фильтров;
- разметка экрана по отражениям сигнала в объекте контроля;
- возможность использования специального программного интерфейса;
- возможность выбора структуры меню по двум схемам: «Пользователь» / «Эксперт»;
- возможность создания голосовых комментариев ко всем типам сохраняемых данных;
- большой высокоскоростной TFT дисплей;
- сохранение и вызов настроек контроля;
- связь с ПЭВМ через USB порт.

Таблица 2.6 – основные технические характеристики дефектоскопа УД4-76

Параметр	Значение
Рабочие частоты	от 0,4 до 15 МГц
Диапазон контроля (по стали)	0...12 000 мм
Динамический диапазон усиления приемного тракта	100 дБ
Абсолютная погрешность при измерении глубины залегания дефекта	$\pm(0,1+0,005 N_x)$ мм
Абсолютная погрешность при измерении отношения амплитуд сигналов	$\pm(0,2+0,03 N_x)$ дБ
Масса дефектоскопа, не более	3,5 кг
Габаритные размеры (без ручки)	247 × 147 × 80 мм

Сравнение основных параметров контроля представлено в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Сравнение основных представленных дефектоскопов

	Полоса пропускания, МГц	Диапазон контроля, мм	Усиление сигнала	Диапазон скоростей, м/с	Диапазон температур	Размер дисплея и разрешение	Типы развертки	Память (кол-во результатов)	Время автономной работы
УСД-60	0.4 - 20	До 3000	90 дБ	1000-9999	-10... +50°C	TFT 135 x 100 мм (640 x 480 пикселей)	А-скан, В-скан, С-скан	5000	7-8 ч
A1212	0.5 - 15	До 3500	100 дБ	1000- 15000	-20... +50°C	320 x 240 пикселей	А-скан, В-скан	500	15 ч
USLT 2000	0.5 - 20	До 10000	110 дБ	1000- 15000	-20... +55°C	10.4" VGA (1024*768 пикселей)	А-скан, В-скан	99999	4 ч
УД4-76	0.4 - 15	До 12000	100 дБ	1000-9999	-40... +55°C	TFT (640 x 480 пикселей)	А-скан, В-скан	5000	6-8 ч
УД2-70	1.25-10	До 5000	100 дБ	1000-9999	-10... +50°C	640 x 480 пикселей	А-скан, В-скан	2000	6-8 ч
USM35	0,8 - 8	До 1420	110 дБ	1000- 15000	-20... +50°C	320 x 240 пикселей	А-скан, В-скан	5000	14 ч

После анализа дефектоскопов выбираем дефектоскоп УД4-76. Его параметры наиболее подходят для контроля на объектах трубопровода, а именно у него хорошая память, диапазон контроля, возможность использовать его в условиях сибирского климата (можно использовать до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Данный дефектоскоп распространен в странах СНГ, надежен, функционален, прост в освоении. [8]



### 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

#### 3.1 Организация и планирование работ

Таблица 3.1-Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	НР – 100% ИП – 70%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР – 100% И – 80%
Расчет принципиальной схемы устройства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

##### 3.1.1 Продолжительность этапов работ

Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  применяется по усмотрению исполнителя одна из двух формул.

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (3.1-a)$$

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4 \cdot t_{prob} + t_{max}}{6} \quad (3.1-b)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{prob}$  – наиболее вероятная продолжительность работы, дн.

Вторая формула дает более надежные оценки, но предполагает большую «нагрузку» на экспертов.

Для выполнения перечисленных в таблице 3.1 работ требуются специалисты:

- инженер – в его роли действует исполнитель НИР (ВКР);
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д} \quad (3.2)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{ВН} = 1$ ;

$K_{Д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ( $K_{Д} = 1-1,2$ ; в этих границах конкретное значение принимает сам исполнитель).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К},$$

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

$T_{К}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле<sup>1</sup>

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}$$

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

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

$T_{ПД}$  – праздничные дни ( $T_{ПД} = 10$ ).

$$T_{К} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 3.2 приведено определение продолжительности этапов работ и их трудоемкости по исполнителям, занятым на каждом этапе.

Таблица 3.2-Трудозатраты на выполнение проекта

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	И	НР	И
Постановка задачи	НР	2	4	2,8	3,36	–	4,07	–
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	НР, И	2	3	2,4	2,88	0,29	3,5	0,35
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	12	15	13,2	4,75	15,84	5,75	19,16
Разработка календарного плана	НР, И	2	4	2,8	3,36	0,33	4,07	0,39
Обсуждение литературы	НР, И	3	6	4,2	1,51	5,04	1,83	6,1
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	7	14	9,8	11,76	8,23	14,25	9,9

Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	6	9	7,2	8,64	6,91	10,47	8,36
Расчет принципиальной схемы устройства	И	8	14	10,4	–	12,48	–	15,1
Оформление расчетно- пояснительной записки	И	6	9	7,2	–	8,64	–	10,45
Оформление графического материала	И	5	6	5,4	–	6,48	–	7,84
Подведение итогов	НР, И	5	8	6,2	4,46	7,44	5,4	9
<b>Итого:</b>				<b>71,6</b>	<b>40,54</b>	<b>63,01</b>	<b>49,34</b>	<b>86,65</b>

### 3.1.2 Расчет накопления готовности проекта

Цель данного пункта – оценка текущих состояний (результатов) работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего ( $i$ -го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Введем обозначения:

- $TP_{\text{общ}}$ . – общая трудоемкость проекта;

- $TP_i$  ( $TP_k$ ) – трудоемкость  $i$ -го ( $k$ -го) этапа проекта,  $i = \overline{1, I}$ ;

- $TP_i^H$  – накопленная трудоемкость  $i$ -го этапа проекта по его завершении;

- $TP_{ij}$  ( $TP_{kj}$ ) – трудоемкость работ, выполняемых  $j$ -м участником на  $i$ -м этапе, здесь  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя, в нашем примере  $m = 2$ .

Степень готовности определяется формулой (3.5)

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{\text{общ.}}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}. \quad (3.5)$$

Таблица 3.3-Наращение технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	$TP_i$ , %	$CG_i$ , %
Постановка задачи	2.99	2.99
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	2.82	5.81
Подбор и изучение материалов по тематике	18.32	24.13
Разработка календарного плана	3.28	27.41
Обсуждение литературы	5.83	33.24
Выбор структурной схемы устройства	17.78	51.02
Выбор принципиальной схемы устройства	13.83	64.86
Расчет принципиальной схемы устройства	11.10	75.96
Оформление расчетно-пояснительной записки	7.69	83.65
Оформление графического материала	5.77	89.41
Подведение итогов	10.59	100.00

### **3.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта**

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

#### **3.2.1 Расчет затрат на материалы**

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования. Сюда же относятся специально приобретенное оборудование, инструменты и прочие объекты, относимые к основным средствам, стоимостью до 40 000 руб. включительно. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам или договорам поставки. Кроме того статья включает так называемые транспортно-заготовительные расходы, связанные с транспортировкой от поставщика к потребителю, хранением и прочими процессами, обеспечивающими движение (доставку) материальных ресурсов от поставщиков к потребителю. Сюда же включаются расходы на совершение сделки купли-продажи (т.н. транзакции). Приближенно они оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это  $5 \div 20 \%$ .

Таблица 3.4-Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Фотобумага для принтера 170 гр 127*8*50,8	270	3 ролика	810
Бумага для принтера формата А4	190	1 уп.	150
Картридж для принтера	1550	1 шт.	1550
Лицензия ППП G Data TotalProtection	2000	1 экз.	2000
<b>Итого:</b>			<b>4510</b>

ТЗР составляют 5 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны  $C_{\text{мат}} = 4510 * 1,05 = 4735,5$  руб.

### 3.2.2 Расчет заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{\text{дн-т}}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{\text{дн-т}} = MO/24,83 \quad (3.6)$$

учитывающей, что в году 298 рабочих дней и, следовательно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Расчеты затрат на полную заработную плату приведены в таблице 5.6. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5.2. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{\text{ПР}} = 1,1$ ;  $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$ ;  $K_{\text{р}} = 1,3$ . 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  $K_{\text{и}} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ . 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 3.5-Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	41	1,699	65 268,39
И	20 000	805,48	63	1,62	82 207,29
Итого:					147475,68

### 3.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.  $C_{\text{соц.}} = C_{\text{ЗП}} * 0,3$ . Итак, в нашем случае  $C_{\text{соц.}} = 147\ 475,68 * 0,3 = 44\ 242,7$  руб.

### 3.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{\text{эл.об.}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{\text{Э}}$$

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

$Ц_{\text{Э}}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{\text{об}}$  – время работы оборудования, час.

Для ТПУ  $Ц_{\text{Э}} = 5,257$  руб./кВт·час (с НДС).

$$t_{\text{об}} = T_{\text{РД}} * K_{\text{т}}$$

где  $K_{\text{т}} \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{\text{РД}}$ ,



определяется исполнителем самостоятельно. В ряде случаев возможно определение  $t_{об}$  путем прямого учета, особенно при ограниченном использовании соответствующего оборудования.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} * K_C$$

где  $P_{ном.}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Таблица 3.6 -Затраты на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Исполнитель	Время работы оборудования $t_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт	Затраты $\Delta_{об}$ , руб.
Персональный компьютер	И	378*0,6	0,3	357,69
Персональный компьютер	НР	126*0,6	0,3	119,23
Струйный принтер	НР, И	30	0,1	15,77
<b>Итого:</b>				<b>492,69</b>

### 3.2.5 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные отчисления» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{ам} = \frac{N_A * Ц_{об} * t_{рф} * n}{F_d},$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{об}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может

быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и так далее;

$F_d$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку  $C_{AM}$ .

$$F_d = 298 * 8 = 2384 \text{ часа};$$

$t_{рф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

При использовании нескольких типов оборудования расчет по формуле делается соответствующее число раз, затем результаты суммируются.

Стоимость ПК 45000 руб., время использования 504 часа, тогда для него  $C_{AM}(ПК) = (0,4 * 45000 * 504 * 1) / 2384 = 3805,37$  руб. Стоимость принтера 12000 руб., его  $F_d = 500$  час.;  $N_A = 0,5$ ; тогда его  $C_{AM}(Пр) = (0,5 * 12000 * 30 * 1) / 500 = 360$  руб. Итого начислено амортизации 4 165,37 руб.

### 3.2.6 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, то есть

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{нп}}) \cdot 0,1$$

Для нашего примера это

$$C_{\text{проч.}} = (4735,5 + 147475,68 + 44242,7 + 492,69 + 4165,37 + 17\,810) \cdot 0,1 = 21\,892,19 \text{ руб.}$$

### 3.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Макет демонстрационной модели принципов КТ».

Таблица 3.7-Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	4735,5
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	147475,68
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	44242,7
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	492,69
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	4165,37
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	17 810
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	21892,19
<b>Итого:</b>		<b>240 814,13</b>

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 240\ 814,13$  руб.