

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

05.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Контроль качества сварных соединений внутреннего газопровода  
высокого давления диаметром менее 400 мм

Студент	<u>А.В. Бесов</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Руководитель	<u>Г.М. Короткова</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
Консультанты	<u>А.Г. Егоров</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>И.В. Краснопевцева</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)
	<u>П.А. Корчагин</u> (И.О. Фамилия)	_____	(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

Цель настоящей работы – экономия материальных ресурсов и повышение информативности контроля за счет подбора современных методов контроля. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Подобран способ контроля методом УЗК и программа для обработки изображений, полученных при рентгеновском контроле.
2. Разработан технологический процесс контроля
3. Подобрано оборудование для реализации данного технологического процесса
4. Предусмотрены мероприятия для защиты жизни и здоровья производственного персонала.
5. Произведена экономическая оценка мероприятий технического характера, разработанных в проекте.

Пояснительная записка содержит \_\_66\_\_ стр., \_\_12\_\_ рисунков, \_\_6\_\_ таблиц.

Для повышения эффективности контроля сварных соединений газопроводов высокого давления диаметром менее 400 мм предложено применить программный комплекс КАРС и метод фронтальной ПСП. Разработана технология контроля сварных соединений. Подобрано соответствующее оборудование.

Для защиты персонала от вредных факторов предложены соответствующие технические и организационные мероприятия.

Проведена экономическая оценка проекта.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений .....	7
1.1 Сварка газопроводов.....	7
1.2 Анализ применяемых материалов .....	10
1.3 Анализ современных способов контроля сварных соединений газопроводов.....	10
1.4 Задачи бакалаврской работы.....	23
2 Разработка технологии контроля .....	26
2.1 Модернизация ультразвуковых методов контроля .....	26
2.2 Модернизация радиационного метода контроля .....	30
3 Оборудование для реализации выбранных методов контроля.....	39
3.1 Оборудование для УЗК контроля .....	39
3.2 Программное обеспечение для автоматизации рентгеновского контроля .....	40
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	42
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта. .....	42
4.2 Риски, сопровождающие технологию контроля сварных труб.....	42
4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков .....	43
4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки.....	44
4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	46
4.6 Заключение по разделу .....	47
5 Экономическая эффективность проекта .....	49
5.1 Исходные данные для экономического обоснования .....	50
сравниваемых вариантов .....	50

5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса.....	51
5.3 Расчет затрат на новое оборудование .....	51
5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений.....	60
5.6 Выводы по разделу.....	61
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>62</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>63</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Для контроля качества сварных соединений могут использоваться различные методы. Сведения о них изложены в разнообразной литературе. На практике методы контроля назначают разработчики технической документации на изготовление изделий. При этом для узла или конструкции рекомендуется, как правило, не более одного — двух методов контроля, то есть приходится производить выбор из нескольких возможных.

Как показал обзор литературы, авторы изданий обычно подробно излагают физическую сущность, применяемое оборудование и технологию выполнения операций контроля каждым методом, а данные об областях их применения, достоинствах и недостатках характеризуют весьма скупо.

Например, газопроводы высокого давления расположенные на территории предприятий относятся к ответственным объектам. Поскольку рабочее давление газа в трубопроводе от 0,3 до 0,6 МПа, то он относится к газопроводам высокого давления II категории. РД 01-001-06 в качестве контрольных операций для таких газопроводов предусматривает операции входного, операционного и приемочного контроля. Рассмотрим проведение приемочного контроля. Визуально-измерительный контроль выполняется согласно РД-03-606-03 в количестве 100%. Физические методы контроля предусмотрены – радиографический и ультразвуковой. Причем, радиографическим методом следует контролировать не менее 10% соединений. Если при данном объеме контроля радиографическими методами выявляются недопустимые дефекты, увеличивают объем контроля до 50%.

Также предусмотрены механические испытания для пробных стыков и стилоскопирование для газопроводов из легированных сталей.

Однако последнее время в методике и оборудовании для физических методов контроля произошли качественные изменения. Сами принципы и физика процесса контроля изменений не претерпели, но внедрения компьютерных технологий позволяет существенно повысить точность

определения дефектов и производительность данного процесса. Например, интегральный ультразвуковой контроль, когда вдоль образующей трубы перемещают преобразователь, ориентированный перпендикулярно линии сканирования. Такой подход позволяет обеспечить контроль всего металла трубы и даже продольных сварных соединений всего лишь за один или несколько проходов группы преобразователей вдоль оси трубы. Это дает возможность существенно уменьшить время проведения контроля и упростить конструкцию системы сканирования.

Цель настоящей работы – экономия материальных ресурсов и повышение информативности контроля за счет подбора современных методов контроля.

# **1 Анализ исходных данных и известных технических решений**

## **1.1 Сварка газопроводов**

Первая операция базового технологического процесса – входной контроль включает в себя следующее:

- проверку сопроводительных документов на трубы, сварочные материалы;
- проверку качества сварочных материалов;
- проверку сварочного и иного применяемого оборудования, контрольно-измерительных приборов и мерительного инструмента;
- проверку удостоверений и сертификатов у производственного персонала.

Непосредственно перед использованием на сварочном участке контролируют была ли выполнена операция прокалки электродов и не закончился ли срок годности после прокалки.

Непосредственно перед использованием внутренние полости труб очищают от загрязнений - снега, грунта и иное. Подготовленную для сварки трубу поднимают к месту монтажа подъемным краном. С учетом малого диаметра трубопровода при сборке применяют наружные центраторы эксцентрикового или звенного типа. При этом центратор не должен оставлять на поверхности свариваемых труб недопустимых дефектов и загрязнений.

Далее, если сварка выполняется при температуре окружающего воздуха менее минус 5°С необходим предварительный подогрев свариваемых кромок. Если температурные условия позволяют обойтись без предварительного подогрева, при наличии влаги на кромках их просушивают нагревом до температуры 20 - 50°С. Для перечисленных операций в базовом технологическом проекте применяют однопламенную газовую горелку и контактный термометр для контроля величины нагрева.

По окончании подготовительных операций выполняют сборку труб. Сборку осуществляют на прихватках. Требования к прихватке: швы следует располагать равномерно по периметру стыка, число прихваток – 3...4 штуки,

длина одной прихватки – 24...30 мм, высота прихватки – 5 мм. Прихватки следует выполнять с полным проплавлением и переваривать их при наложении первого слоя шва. Нельзя выполнять прихватки на потолочном участке стыка.

При выполнении прихваток диаметр электродов 3 мм, сила тока 90-100 А. Прихватки нужно зачистить, причем, начало и конец прихваток зачистить шлифовальным кругом.

Сварку выполняют короткой дугой, длина которой не должна превышать одного диаметра электрода. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги необходимо заплавить кратер. Последующее зажигание дуги производится на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20...25 мм от кратера. Для избежания зашлаковки металла шва около кромок труб следует наплавлять плоский валик.

При сварке используются электроды УОНИ 13/45 Ø3 мм. Ток сварки – 70...90 А, напряжение дуги – 22...26 В. Ток постоянный, полярность обратная. Высота валика сварного шва должна быть 2...4 мм, ширина валика – 4...10 мм.

Дугу необходимо зажигать в разделке кромок или на поверхности уже выполненного валика шва.

Освобождать стягивающие механизмы центратора разрешено после выполнения сварки корневого слоя шва на 60% от всего периметра стыка труб. При этом участки с выполненным корневым слоем шва должны быть равномерно расположены по периметру сварного соединения труб. Начало и конец каждого участка корневого слоя шва следует подвергать механической обработке шлифмашинкой.

При сварке заполняющих слоев следует обеспечить смещение начала и окончания сварки каждого последующего слоя сварного шва относительно начала и окончания сварки предыдущего слоя шва. При этом начало сварки необходимо сместить на 30 мм, а окончание сварки – на 70 мм.



Сварку основного слоя шва выполняют, оставляя незаполненную до краёв разделку, при этом остаточная глубина по всему периметру стыка должна быть 1,0...1,5 мм. Эта незаполненная глубина используется для наложения облицовочного слоя.

По окончании сварки стыка производится контроль. Визуальный контроль производится невооруженным глазом или с помощью лупы 4-7-кратного увеличения для участков, требующих уточнения характеристик обнаруженных дефектов, с применением, при необходимости, переносного источника света. Контролируют 100% сварных швов после их очистки от шлака, окалины, брызг металла и загрязнений на ширине не менее 20 мм по обе стороны от шва.

По внешнему виду швы должны удовлетворять следующим требованиям:

- форма и размеры должны соответствовать С2 и У18 по ГОСТ 16037;
- поверхность швов должна быть гладкой или равномерно-чешуйчатая;
- переход от наплавленного металла к основному должен быть гладким;
- швы не должны иметь недопустимых дефектов.

В сварных соединениях не должно быть следующих наружных дефектов: трещины всех видов и направлений, свищи и пористость наружной поверхности шва, подрезы, наплывы, прожоги и незаплавленные кратеры, грубая чешуйчатость поверхности шва, наружные поры и цепочки пор, подрезы основного металла.

Выявленные при визуальном и измерительном контроле дефекты, которые могут быть исправлены (удалены) без последующей заварки выборок, должны быть исправлены до проведения контроля другими методами. Для нашего трубопровода 1 категории контролируют 100% сварных швов после их очистки от шлака, окалины, брызг металла и загрязнений на ширине не менее 20 мм по обе стороны от шва.

С учетом ответственности газопровода применяется еще и радиографический контроль, 20%. Малый диаметр трубопровода не

позволяет применить ультразвуковой метод контроля.

Радиографическую дефектоскопию производят согласно требованиям ГОСТ 7512—82 и РД 34 10.068—91.

### 1.2 Анализ применяемых материалов

Для сварки газопроводов могут применяться такие группы материалов как 1 (М01) и 9 (М11). К первой группе относят углеродистые и низколегированные стали перлитного класса, гарантированный предел текучести у которых не превышает 360 МПа. Это такие стали как Ст2кп, Ст2пс, Ст2сп, Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 08, 08Ю, 10, 15, 20, 10Г2, 10Г2С, 14ХГС, 20ГСЛ и другие. К девятой группе относят высоколегированные коррозионно-стойкие стали аустенитного класса, такие как 08Х18Н10Т, 12Х18Н12Т и другие.

### 1.3 Анализ современных способов контроля сварных соединений газопроводов.

При сварке технологического трубопровода могут возникнуть следующие дефекты, таблица 1.2.

Таблица 1.2 – Возникающие дефекты при ручной дуговой сварке технологических трубопроводов и причины их появления

Дефекты	Причины образования дефектов
1	2
<b>Непровары</b>	1) неправильно выбрана форма разделки торцев труб; 2) малая величина погонной энергии при сварке; 3) нарушения при проведении подготовки поверхностей труб под сварку; 4) чрезмерная величина притупления кромок при подготовке торцев труб; 5) чрезмерно малая величина зазоров при сборке; 6) в процессе сварки сварочный электрод был смещён относительно стыка; 7) низкое качество промежуточной зачистки швов после выполнения

	очередного прохода
<b>Подрезы</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая сила сварочного тока;</li> <li>2) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая скорость сварки;</li> <li>3) при осуществлении сварки была использована чрезмерная длина дуги;</li> <li>4) при осуществлении сварки не был обеспечен достаточный наклон сварочного электрода (неправильное ведение сварочного электрода)</li> </ol>
<b>Прожоги</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) при сварке была превышена допускаемая величина погонной энергии;</li> <li>2) при сборке был установлен слишком большой зазор;</li> <li>3) при подготовке торцев труб не была выполнена достаточная величина притупления кромок;</li> <li>4) при сборке труб под сварку произошло чрезмерное смещение кромок;</li> <li>5) при сварке произошло коробление деталей</li> </ol>
<b>Наплывы</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая сила сварочного тока;</li> <li>2) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая скорость сварки;</li> <li>3) при осуществлении сварки была использована чрезмерная длина дуги;</li> <li>4) смещение электрода при сварке;</li> <li>5) при осуществлении сварки не был обеспечен достаточный наклон сварочного электрода (неправильное ведение сварочного электрода)</li> </ol>
<b>Свищ</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) низкое качество основного металла;</li> <li>2) нарушение газовой защиты.</li> </ol>

Продолжение таблицы 1.2

1	2
<b>Трещины</b>	1) после сварки произошло превышение времени между сваркой и термообработкой; 2) после сварки не была обеспечена минимальная скорость охлаждения стыка; 3) в процессе сварки была нарушена газовая защита; 4) низкое качество основного металла.
<b>Поры</b>	1) при сварке были применены отсыревшие электроды; 2) нарушение подготовки свариваемых кромок; 3) при сварке использовался электрод большего диаметра; 4) при осуществлении сварки была использована чрезмерная длина дуги; 5) при выборе параметров режима была выбрана слишком большая скорость сварки; 6) в процессе сварки была нарушена газовая защита; 7) низкое качество основного металла.
<b>Включения</b>	1) нарушения при проведении подготовки поверхностей труб под сварку; 2) низкое качество основного металла; 3) нарушение технологии сварки; 4) в процессе сварки была нарушена газовая защита.

Для выявления перечисленных дефектов в настоящее время существует множество методов неразрушающего контроля для поиска и оценки скрытых или поверхностных дефектов и на практике часто приходится делать выбор между ними. Критериями выбора конкретного метода, как правило, являются удобство применения, рекомендации действующего стандарта (либо руководящего документа) и общепризнанность метода контроля в решении поставленной практической задачи.

Для представления полной сравнительной картины возможностей различных методов контроля необходимо знать их чувствительность при выявлении дефектов, скрытых от человеческого глаза. Подобную картину в 1973 г. опубликовали американские ученые в виде графика [1] (рис. 1),

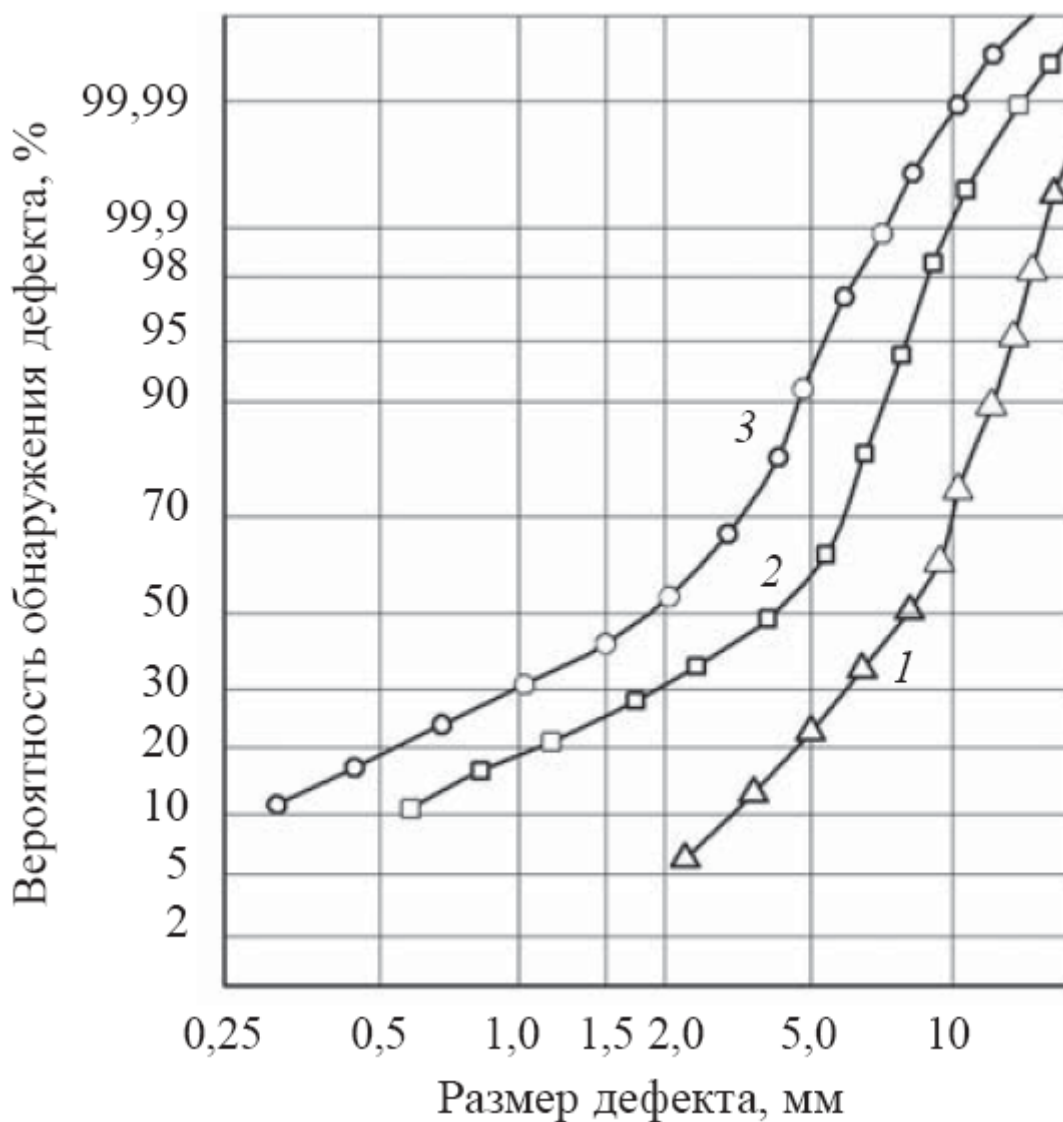


Рисунок 1 – Графики чувствительности методов неразрушающего контроля, 1 – рентгенографического, 2 – капиллярного, 3 – ультразвукового.

на котором показана сравнительная характеристика чувствительности ультразвукового, капиллярного и рентгенографического методов неразрушающего контроля. По представленным графикам можно объективно оценить эффективность указанных методов неразрушающего контроля в зависимости от размера дефекта.

Кроме того, при выборе метода контроля необходимо учитывать экономические характеристики, производственную ситуацию и прочие параметры. Поэтому для выбора методов контроля трубопроводов рассмотрим все возможные варианты.

К недостаткам радиационного контроля следует отнести, помимо высокой трудоемкости еще и следующее. Результатом радиационного контроля является получение изображения на рентгеновском снимке.

Путем сравнения характеристик теневого изображения несплошности с допустимыми значениями, установленными нормативно-технической документацией, принимается решение о соответствии (не соответствии) сварного соединения требованиям нормативно-технической документации. К характеристикам несплошности, определяемым по результатам анализа теневого изображения, относятся: тип дефекта, размеры несплошности, суммарная протяженность дефектов на базовой длине и пр.

В силу объективных причин, как правило, изображения несплошностей искажены по площади и по форме [2]. Учитывая это, а также отсутствие практических рекомендаций по анализу изображений, в большинстве случаев не представляется возможным однозначное определение типа дефекта, создавшего конкретную проекцию. Например, проекции таких дефектов как поры и шлаковые включения отличить друг от друга чрезвычайно трудно, похожими друг на друга являются проекции несплавлений, трещин, удлиненных шлаковых карманов, внутренних подрезов, непроваров.

Отсутствие четких и понятных критериев отнесения несплошностей к определенному типу приводит к существенным различиям в результатах расшифровки и как следствие — недобраковке и перебраковке. Несоответствие результатов расшифровки у опытных дефектоскопистов может достигать 30–40 %.

Также отмечается, что различия в результатах определения типа дефекта наблюдаются даже у одних и тех же операторов при условии выполнения расшифровки в разное время.

При проведении расшифровки серьезные сомнения испытывают и сами дефектоскописты.

Выходом из данной ситуации может быть внедрение в методику радиационного контроля принятых в ультразвуковом контроле критериями.

При отношении максимальных размеров проекции более 5 — ее считают протяженной, 4–3 — объемно-протяженной (удлиненной), 2–1 — объемной (округлой). Данная классификация учитывает влияние различных типов дефектов на надежность трубопровода и характер его нагружения, так как дефекты внутри одного класса имеют близкие коэффициенты опасности.

Подобное упрощение процедуры идентификации изображений позволит унифицировать процесс принятия решения по результатам расшифровки, и как следствие приведет к увеличению степени согласованности мнений специалистов.

Использование на практике данного подхода возможно только в случае установления для классов изображений таких норм отбраковки, результат применения которых совпадет с результатами отбраковки, проводимой по действующим критериям, рисунок 1.1. При этом необоснованная недобраковка при использовании предлагаемых критериев должна быть исключена.

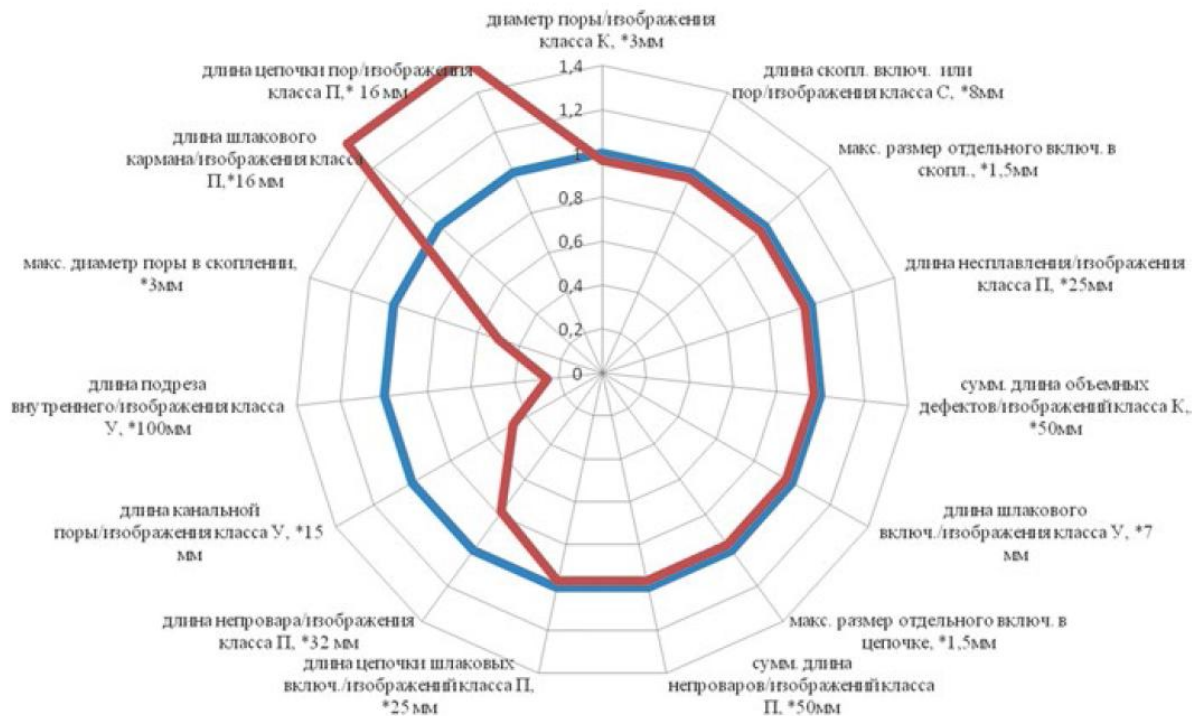


Рисунок 1.1 – Нормы отбраковки для трубопровода 2 категории толщиной стенки 16 мм.

Также субъективные факторы оператора могут влиять и на оценку результатов ультразвукового контроля.

Для выявления дефектов также могут быть применены внутритрубные инспекционные приборы. Эти устройства предназначены для выявления, измерения геометрических параметров и месторасположения повреждений и дефектов металла стенок линейной части трубопровода.

В зависимости, от используемых в процессе диагностирования, физических методов неразрушающего контроля, внутритрубные инспекционные приборы подразделяются на магнитные, ультразвуковые и комбинированные.

Как показывает практика, широко применяемые до настоящего времени магнитные внутритрубные инспекционные приборы, имеют ряд недостатков, к которым, прежде всего, относят низкую чувствительность к поверхностным дефектам глубиной менее 10 % толщины стенки трубы, особенно к дефектам типа «комбинированный дефект» и внутренним дефектам в основном металле трубопровода типа «включения» и «расслоения», низкую выявляемость дефектов в кольцевых и продольных сварных швах трубопровода и их околошовных зонах.

Наиболее перспективными, в этом смысле, являются внутритрубные инспекционные приборы, технологии которых базируются на ультразвуковых методах неразрушающего контроля. Последние позволяют обеспечить наибольшую чувствительность и информативность по отношению к различного рода дефектам, характерным для магистральных нефтепроводов.

К принципиально новым средствам ультразвукового неразрушающего контроля, реализующим широкие возможности, относятся, в частности, системы контроля с преобразователями, использующими технику фазированных антенных решеток. Эта техника обеспечивает программное управление процессом формирования акустического поля (направленностью,



фокусным расстоянием, сканированием без перемещения преобразователя и т.д.).

Широкое внедрение систем ультразвукового контроля с использованием техники фазированных антенных решеток началось около 30 лет назад благодаря появлению высокоскоростной процессорной техники. Однако практическое применение этой техники в настоящее время сдерживается отсутствием для нее соответствующего методического обеспечения.

По этой же причине техника фазированных антенных решеток не использовалась до настоящего времени в ультразвуковых внутритрубных инспекционных приборах. Очевидно, для методически грамотной внутритрубной диагностики с применением техники фазированных антенных решеток необходимо достаточно глубокое изучение физических принципов ее работы применительно к условиям диагностирования магистральных нефтепроводов, в частности, анализа особенностей формирования акустических сигналов при их иммерсионном вводе через криволинейную грубую, имеющую большую шероховатость, вогнутую поверхность трубопровода.

Проведенные экспериментальные исследования эффективности фазированных антенных решеток, с точки зрения выявления и идентификации эксплуатационных дефектов в магистральных нефтепроводах показали, что техника фазированных антенных решеток обеспечивает выявление эксплуатационных дефектов (трещин и трещиноподобных дефектов, дефектов типа «риска», дефектов типа «потеря металла», комбинированных дефектов — трещин и трещиноподобных дефектов, дефектов типа «риска», расположенных во вмятинах) в соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации.

Принципиально, ключевым моментом предложенной технологии для внутритрубной диагностики является то, что оптимальная схема прозвучивания обеспечивает одним акустическим блоком фазированной

антенной решетки выявление, с равномерной чувствительностью, дефектов на расстоянии до 70 мм от акустического блока до дефекта.

В настоящее время многоканальные дефектоскопы, как контактные, так и бесконтактные, представляют собой сложные многоканальные устройства. Обычно многоканальные дефектоскопы включают управляющий процессор, аналого-цифровые преобразователи (АЦП), контроллер, управляющий процессами приема и передачи, устройства цифрового ввода\_вывода и другие устройства. Наряду со сложной электронной частью большую сложность представляет собой программное обеспечение, отвечающее за функционирование устройства. Учитывая перечисленное, создание современного многоканального дефектоскопа является трудной технической задачей. Кроме того, электронные компоненты (особенно процессоры) быстро устаревают, а требования к функциям дефектоскопа постоянно усложняются. Для создания нового прибора необходимо привлекать высококвалифицированных специалистов из разных областей техники (дефектоскопии, аналоговой и цифровой электроники, программирования, микроконтроллеров). При этом некоторые сложные приборы (например эмасканеры) выпускают небольшой серией, что удорожает и затрудняет их применение для экспериментов.

Специалисты кафедры «Сварки и диагностика» МГТУ им. Н. Э. Баумана придерживаются иной стратегии создания прибора. Максимальное число узлов прибора используется в виде готовых блоков (платы расширения к основному компьютеру). Это платы процессора, многоканального АЦП, высокоскоростного многоканального контроллера и цифрового ввода-вывода для управления вспомогательными устройствами.

При таком подходе вновь разрабатываются только узлы предварительного усилителя с устройством защиты входа для приемника и оконечного усилителя передатчика.

Сигналы, поступающие на вход усилителя мощности, формируются в специальной плате расширения в скоростном контроллере. Сигналы,

приходящие с ПЭП или предварительного усилителя ЭМАП, поступают на вход аналого\_цифрового преобразователя с большим динамическим диапазоном, что позволяет исключить временную регулировку чувствительности в процессе контроля и реализовать ее на стадии обработки программным методом.

Таким образом, большинство блоков прибора приобретается в готовом и отлаженном виде. Для их создания не требуется привлечение соответствующих специалистов. При появлении новой версии данных блоков модернизация (апгрейд) происходит посредством замены платы без новых разработок. Таким образом, при разработке основной «центр тяжести» переносится на программное обеспечение, которое легко меняется и модернизируется.

Универсальный стенд состоит из корпуса со встроенным блоком питания, четырехканального 16\_разрядного АЦП с максимальной скоростью дискретизации 40 МГц, блока процессора и блока обработки сигналов цифрового ввода-вывода. Эти блоки соединяются между собой высокоскоростной цифровой шиной РХІ. Входы АЦП подключаются четырьмя разъемами СР\_50, выходы контроллера — специальным кабелем. Общий вид стенда на рисунке 1.2.

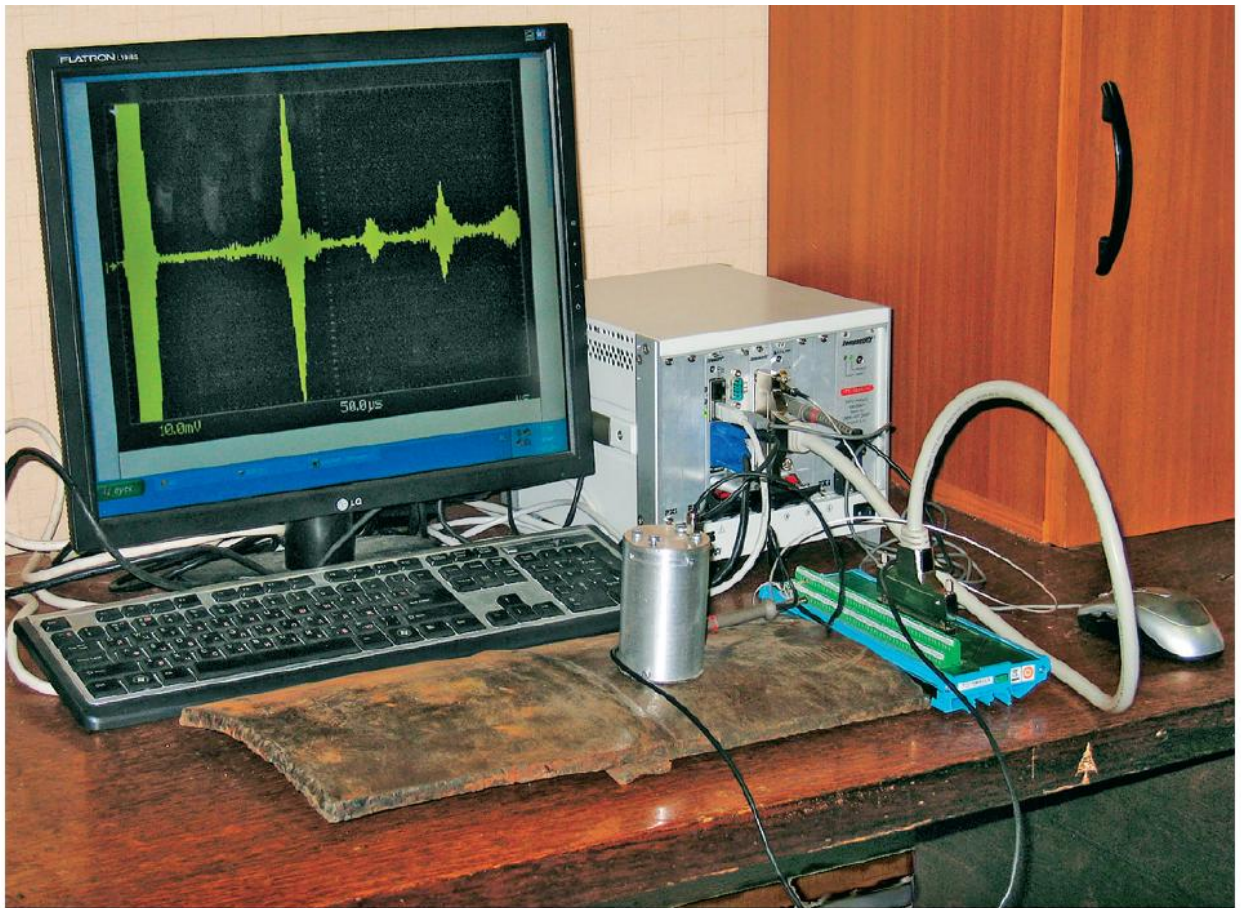


Рисунок 1.2 – Общий вид универсального стенда

Создание универсального дефектоскопа на основе стандартных блоков позволит сократить время разработки прибора, обеспечить в дальнейшем модернизацию прибора и значительно уменьшить долю работ по разработке и отлаживанию схем, печатных плат и конструкции прибора.

Такой подход особенно необходим в случаях, когда выпускаемая серия прибора невелика (десятки штук), от прибора требуется универсальность (работа с ЭМА, ПЭП и др.) и ограничено время разработки.

Наивысшей степенью развития методов контроля на данном этапе является автоматический мониторинг и протоколирование процессов сварки. Для решения такой задачи сварочное оборудование следует оснастить бесконтактными датчиками (профилометрами, видеокамерами), обеспечивающими построение как двумерных, так и пространственных моделей сварных соединений. Комплексирование методов получения визуальной информации и создание компактных двумерных и трехмерных моделей сварных соединений позволяет реализовывать интеллектуальные

системы управления процессом сварки [6] с функциями адаптивной коррекции режимов [7], возможностями прогнозирования появления дефектов [8] и протоколирования информации о протекании технологических процессов для создания масштабных баз данных, предназначенных как для подготовки специалистов-сварщиков, так и для разработки обучаемых автоматических систем сварочного производства.

Разработанный в МГТУ им. Н.Э. Баумана сварочный комплекс автоматической сварки кольцевых стыков трубопроводов большого диаметра оснащен программно-аппаратными системами профилометрии и получения визуальной информации о сварном соединении (рис. 1.3). Все основные функции управления, отображения, протоколирования и прогнозирования дефектов возложены на промышленный компьютер.

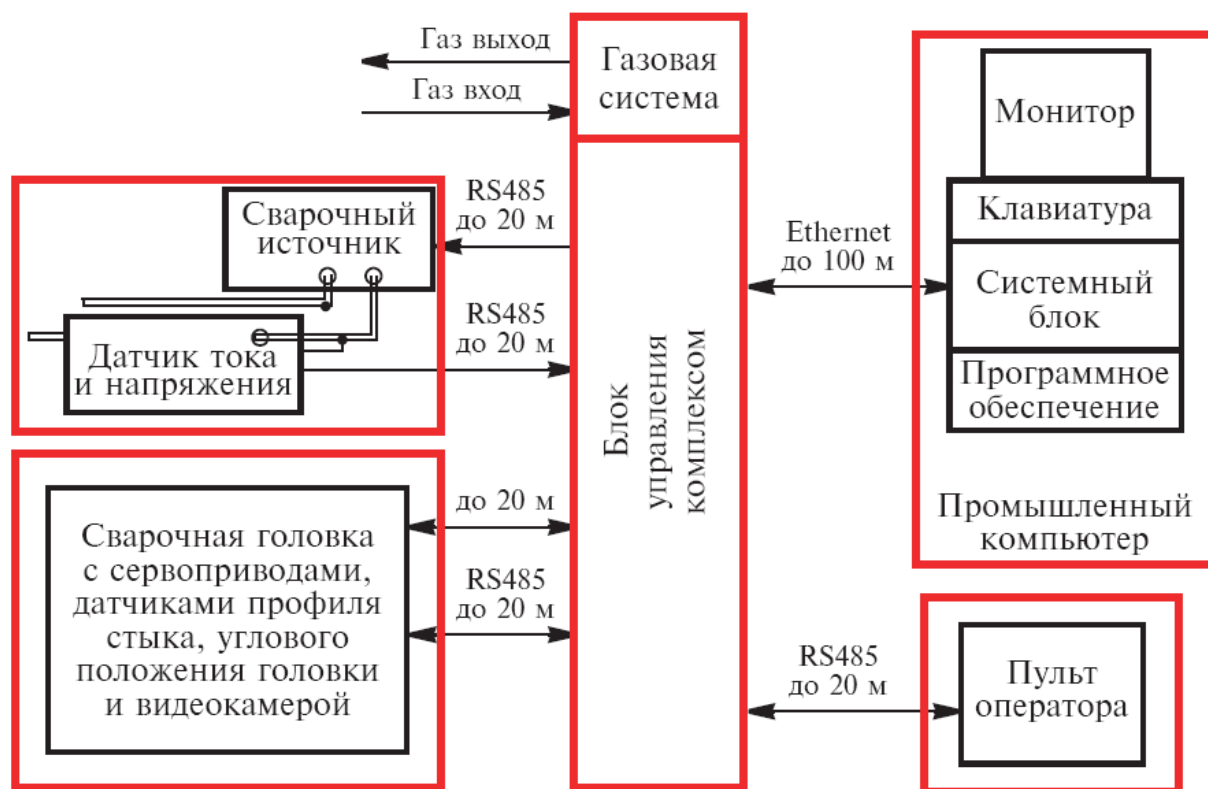


Рисунок 1.3 – Структура автоматизированного сварочного комплекса.

Блок управления комплексом (БУК) содержит модули управления двигателями сварочной головки, устройства связи со сварочным источником, блоки обработки сигналов датчиков и систему управления газом. Пульт

оператора подключается к блоку управления и позволяет управлять комплексом в ручном и полуавтоматическом режимах: запускать и останавливать процесс, корректировать параметры сварки в заданных пределах и осуществлять ручное управление комплексом.

Для выполнения автоматической орбитальной сварки трубопроводов использовали установку УАСТ-1 НПП «ТехноТрон». Общий вид сварочной установки приведен на рис. 1.4.

В процессе сварки лазерный сканер обеспечивает построение пространственных моделей кольцевых стыков. Полученная трехмерная модель может быть использована как для обеспечения точного позиционирования сварочной горелки, так и для обнаружения дефектов сварного соединения в случае, если профилометрия проводится по окончании процесса сварки.

В основе работы сканера лежит принцип оптической триангуляции [7]. Излучение полупроводникового лазера формируется объективом в виде линии и проецируется на исследуемый объект. Рассеянное на объекте излучение объективом собирается на двумерной CMOS-матрице.



#### Рисунок 1.4 – Установка для орбитальной сварки кольцевых стыков труб большого диаметра.

Полученное изображение контура объекта анализируется сигнальным процессором, который рассчитывает расстояние до объекта (координата  $y$ ) для каждой из множества точек вдоль лазерной линии на объекте (координата  $x$ ). Результаты измерений сечения профиля исследуемого объекта передаются в блок управления. Сечения при сканировании получают привязку к выбранной системе координат.

Применение лазерных триангуляционных сканеров наряду с технологиями цифровой обработки изображений в задачах построения трехмерных (пространственных) моделей разделки стыковых соединений и сварных швов позволяют точно позиционировать рабочие инструменты относительно детали во время технологического процесса и выполнять бесконтактный контроль качества по его завершении.

#### 1.4 Задачи бакалаврской работы

В сварочном производстве выбор оптимального метода контроля является обязательной процедурой при организации выполнения любых сварочных работ. Сложность проблемы выбора обусловлена тем, что к настоящему времени накоплен огромный объем знаний о существующих методах контроля и опыте их повсеместного применения. Но в большинстве изданий эти данные не систематизированы и для их извлечения и анализа требуется большая трудоемкая работа с источниками информации.

Сами методы контроля многочисленны, имеют множество разновидностей по разным признакам и образуют сложную многоуровневую структуру. Не менее сложны виды дефектов сварки, которые могут возникать и подлежат выявлению. Их также можно классифицировать по множеству признаков. Кроме данных о методах контроля и видах дефектов необходимы сведения об объектах контроля, то есть сварных соединениях конкретных изделий. Представить все в общем виде невозможно.

При обсуждении рассматриваемой тематики необходимо исходить из того, что вопросы назначения методов контроля качества возникают только в двух случаях:

- при организации производства нового изделия или его модернизации;
- когда используемые на предприятии методы контроля по каким-то причинам не устраивают производителя или пользователя.

В обоих случаях сначала определяют, известно ли необходимое решение. Если да, то вопросы выбора метода контроля снимаются. В противном случае выбор подходящего метода является сложной задачей.

Разработчикам изначально неизвестно, из каких методов следует производить выбор и влияние каких факторов следует принимать во внимание. Для таких задач не существует определенного алгоритмического решения. Поэтому методологию решения может предложить только человек — специалист, использующий имеющиеся у него опыт и эвристические знания. Вероятно, он будет действовать поэтапно, в последовательности:

- 1) обзор всей совокупности исходных данных и по ним выделение некоторого конкретного направления работы;
- 2) сбор дополнительных данных, необходимых выбранному направлению;
- 3) планирование последующих действий по выбору оптимальных методов контроля качества и их выполнение;
- 4) анализ результатов проведенных работ, при необходимости их уточнение.

Первых два этапа требуют от человека способности выполнять сложную аналитическую работу.

Главная задача 1-го этапа — на основе ознакомления со всеми исходными данными выделить предположительно наиболее подходящие методы контроля качества (обычно не более двух–трех). Тем самым исходная задача многократно упрощается и становится конкретной для дальнейшей работы. Например, если рассматриваемая сварная конструкция изготовлена из сталей с ограниченной сварив-



ваемостью, её детали имеют среднюю толщину (не тонкие), то для выявления возможных трещин наиболее подходящими могут быть методы рентгено- и гаммаграфии

На 2-м этапе потребуется собрать подробные сведения о методах рентгено- и гаммаграфии: их разновидностях, производственных возможностях, видах и параметрах соответствующего оборудования, особенностях технологии применения и т.д.

К сожалению, поиск и анализ перечисленных и других подобных данных затруднен из-за того, что в литературе мало внимания уделяется сравнению близких по возможностям методов.

Таким образом, для достижения поставленной в ВКР цели необходимо решить следующие задачи:

1. Подобрать наиболее подходящие современные методы для контроля
2. Разработать технологический процесс контроля.
3. Подобрать оборудование для реализации технологического процесса контроля и скомпоновать на производственном участке.
4. Предусмотреть мероприятия для защиты жизни и здоровья производственного персонала.
5. Произвести экономическую оценку мероприятий технического характера, разработанных в проекте.

## **2 Разработка технологии контроля**

### **2.1 Модернизация ультразвуковых методов контроля**

Задача ультразвуковой дефектометрии заключается в определении типа несплошности, его размеров и координат. Точность ее решения определяет эффективность неразрушающего контроля, в частности у.з. контроля.

Для определения типа отражателя при проведении ручного ультразвукового контроля были разработаны различные методы, учитывающие особенности индикатрисы рассеивания отражателя в зависимости от его типа. Такие методы предполагают линейное сканирование преобразователем с его азимутальным поворотом и анализ амплитуды принятого эхосигнала [1]. Была разработана методика классификации на основе понятия у.з. коэффициента формы [1, 2], который определяется как отношение амплитуды эхоимпульса на прямом луче к амплитуде эхоимпульса при однократном отражении от дна образца. В [2] предложен метод распознавания типа несплошности, основанный на анализе спектра отраженных эхосигналов.

Создание систем, использующих когерентные методы восстановления изображения отражателей, позволило перейти от анализа эхосигнала к анализу растровых изображений, имеющих высокое фронтальное разрешение и малый уровень шума. Это привело к более точному решению задач дефектометрии, то есть удалось повысить надежность определения типа отражателя и довести точность определения его размеров до длины волны [3].

Внедрение в практику ультразвукового контроля дефектоскопов на основе антенных решеток предоставило специалистам по ультразвуковому контролю широкие возможности для оперативного восстановления изображения несплошностей [4].

Повышение качества изображения в таких системах во многом является следствием уникальных акустических свойств современных

антенных решеток, имеющих высокую чувствительность и формирующих импульсы длиной около полутора периодов центральной частоты.

Однако упомянутые подходы не всегда позволяют определить тип несплошности и провести измерения ее размеров с точностью порядка четверти длины волны. Поэтому дальнейшее развитие методов ультразвуковой дефектометрии по прежнему является актуальной задачей.

Для повышения разрешающей способности можно применять когерентную обработку измеренных эхосигналов. В 80-ых годах прошлого века появились системы УЗК [3, 4, 5] формирующие изображения отражателей по эхосигналам, измеренным одноэлементным преобразователем, работающим в совмещенном режиме и сканирующим вдоль прямой линии, вдоль оси  $x$ , на рис. 2.1.

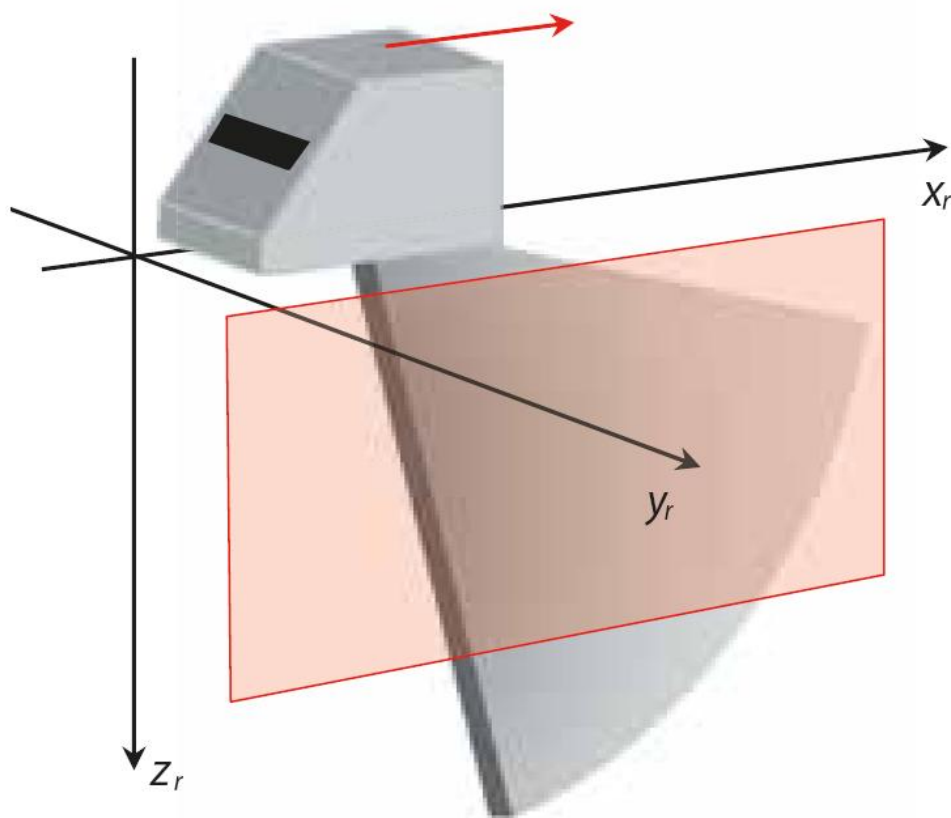


Рисунок 2.1 – Регистрация эхосигналов для обработки методом 2D ПСП.

В таких системах для получения изображения дефектов используются алгоритмы, основанные на решении обратной скалярной задачи рассеивания в Борновском приближении [8, 9]. К алгоритмам такого класса относится

метод проекции в спектральном пространстве (ПСП), который в зарубежной литературе называется Fourier Transformation Synthetic Aperture Focusing Technique (FT-SAFT) [3, 4, 5]. Особенность изображения отражателей восстановленных этим методом состоит в том, что в силу большой пространственной апертуры, на которой регистрируются эхосигналы, фронтальное разрешение в плоскости  $xz$  примерно равно размеру мнимого излучателя и приемника и практически не зависит от глубины  $z$ . Реализовав подобный подход для получения изображений в системах с интегральным УЗК металла труб можно ожидать существенного улучшения качества изображений — повышения фронтальной разрешающей способности в плоскости  $xu$  и уменьшения уровня шумов.

Для восстановления изображения отражателей в плоскости  $xz$  преобразователь, поле которого схематически изображено на рисунке 2.1 перемещается вдоль оси  $xz$ .

На рис. 2.2 показано размещение преобразователя и направления его движение для обработки эхосигналов методом фронтальной ПСП.

Преобразователь в этом случае перемещается вдоль оси  $uz$ , по отношению к которой он развернут на 90 градусов. Легко заметить, что переход в систему координат  $uz$ , определяемую центральным углом ввода преобразователя, приводит задачу к обычному двумерному варианту метода ПСП при контроле как будто бы прямым преобразователем.

Для получения изображения отражателей с высоким продольным разрешением обычно используется многочастотный режим.

Для эффективного применения метода Ф-ПСП рекомендуется использовать пьезоэлементы размерами 4 на 12 мм, которые на частоте 2,5 МГц имеют ширину диаграммы направленности около 30 градусов. Ориентация пьезоэлемента на призме должна быть такой, как это показано на рис. 2.1. Применение Ф-ПСП для проведения автоматизированного ультразвукового контроля потребовало решения задачи настройки чувствительности при изменении расстояния до несплошности. Эта

процедура должна проводиться на стандартных образцах предприятия (СОП) по эталонному отражателю, размеры которого соответствуют максимально допустимому дефекту в объекте контроля.

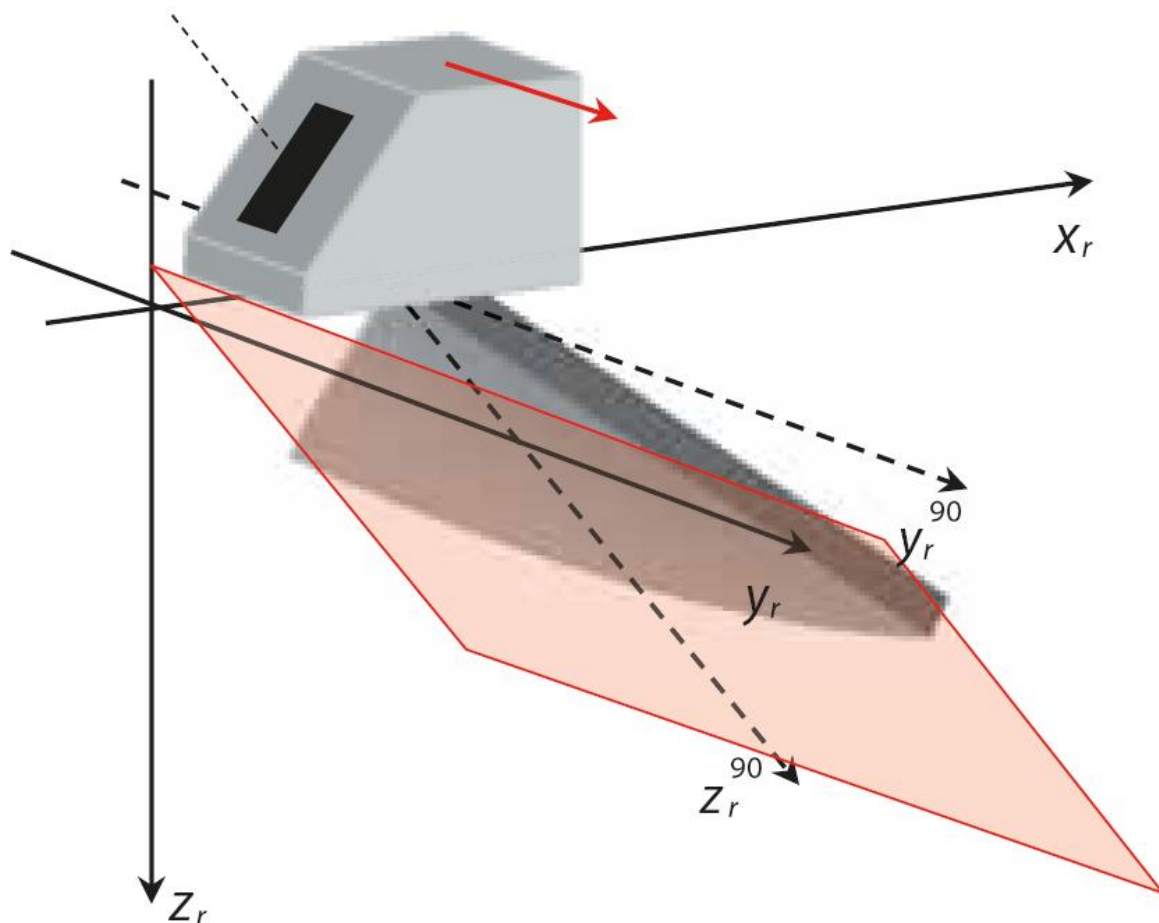


Рисунок 2.2 - Регистрация эхосигналов для обработки методом фронтальной ПСП.

в сравнении с обычной визуализацией обработка эхосигналов методом Ф-ПСП позволяет:

- уменьшить фронтальное разрешение изображения более чем в пять раз, то есть с 80 мм до 15 мм при сканировании ПЭП на расстоянии порядка 900 мм от продольного сварного соединения, что позволяет достоверно проводить классификацию выявленных несплошностей по протяженности;
- повысить отношение сигнал/шум изображения более чем на 12 дБ, то есть увеличить чувствительность контроля не меньше, чем в четыре раза.

Таким образом на данном методе останавливаемся.

## 2.2 Модернизация радиационного метода контроля

Радиационный контроль является одним из основных методов выявления дефектов в металлических сварных соединениях экологически опасных конструкций (трубопроводы, сосуды, работающие под давлением и других). Изображение контролируемого объекта формируется посредством рентгеновского, гамма- или тормозного излучений на радиографической пленке, фосфорной пластине или в памяти компьютера, если применяется устройство радиометрического контроля, непосредственно формирующее цифровое изображение.

Традиционно расшифровку радиационных изображений выполняют вручную с применением компьютера или без него. Если носителем информации является радиографическая пленка, то расшифровку выполняют с использованием негатоскопа, денситометра и измерительных инструментов (вариант без компьютера). Если изображение оцифровано, то расшифровка выполняется на компьютере в программе, которая выводит изображение на экран монитора и предоставляет дефектоскописту необходимый набор ручных операций обработки этого изображения. Оба способа обработки радиационных изображений весьма трудоемки и субъективны. Кроме того, существенным недостатком расшифровки без применения компьютера является нерешенность проблемы долгосрочного хранения радиографических пленок. В настоящее время хранение любой информации, представленной в цифровой форме, включая цифровые изображения, обеспечивается достаточно легко. Для этого создают электронную базу данных, доступ к которой реализуется с помощью одной из современных систем управления БД.

В связи с этим актуальной представляется задача автоматизации компьютерной обработки результатов радиационного контроля, которая позволит частично или полностью устранить отмеченные недостатки.

Указанная задача может быть разделена на три части: формирование цифровых изображений, их архивация и расшифровка. Если носителем информации является радиографическая пленка или фосфорная пластина, то

цифровые изображения формируются с помощью соответствующих сканеров. Устройство радиометрического контроля формирует цифровые изображения без использования промежуточных носителей информации. Независимо от способа формирования цифровые изображения должны отвечать требованиям, предъявляемым к ним в соответствующих нормативных документах по проведению радиационного контроля, и, следовательно, должны иметь аналогичные характеристики: геометрическую разрешающую способность, контрастную чувствительность и другие. Операции архивации и расшифровки, с одной стороны, реализуются по одним и тем же алгоритмам, которые не зависят от способа формирования цифровых изображений и в этом смысле являются универсальными. С другой стороны, при расшифровке цифровых изображений, полученных различными способами, необходимо учитывать их особенности.

Таким образом, программное обеспечение обработки радиационных изображений можно разделить на две слабо зависимые части: обеспечивающее формирование изображений и управляющее соответствующим оборудованием; выполняющее функции архивации и расшифровки изображений. При этом обе части могут быть частями одной программы или различными программами. Второй вариант предпочтительней, так как позволяет разрабатывать разные элементы ПО независимо.

В РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина совместно с ЦНИИТМАШ был разработан комплекс архивации и автоматизированной компьютерной расшифровки радиографических изображений сварных соединений ("КАРС"), который аттестован как средство неразрушающего контроля, а также разрешено его использование для контроля оборудования нефтяной и газовой промышленности, систем газоснабжения и объектов котлонадзора. В состав комплекса входят: персональный компьютер, сканер, принтер и ПО "КАРС" (РФ, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009610394). "КАРС" обеспечивает формирование цифровых изображений путем сканирования радиографических снимков сварных

соединений, а также архивацию и автоматизированную расшифровку этих изображений. Программное обеспечение "КАРС" может также функционировать в составе комплексов, использующих в качестве носителя информации фосфорные пластины, или совместно с устройствами радиометрического контроля. В таком варианте использования программное обеспечение "КАРС" обеспечивает только реализацию функций архивации и автоматизированной расшифровки цифровых радиационных изображений.

Укрупненная структура программного обеспечения представлена на рис. 2.3. Элементы структуры (кроме БД) соответствуют содержательным операциям реализованного алгоритма, стрелки отображают взаимосвязь операций (шагов алгоритма) и частично последовательность их выполнения. Номер, присвоенный элементу структуры, соответствует порядковому номеру операции в алгоритме.



Рисунок 2.3 – Структура программного обеспечения

Программное обеспечение имеет в своем составе базу данных, которая



объединяет различные его элементы в единую программную систему. Информация в БД разделена на справочную и рабочую. В состав справочной информации входит перечень используемой нормативно-технической документации (НТД), информация о типах объектов контроля, категориях (классах) сварных соединений по НТД и соответствующих им (категориям, классам) требуемые чувствительности контроля, типы дефектов, нормы оценки допустимости дефектов, схемы просвечивания, параметры системы формирования изображений и другие. Так как справочная информация хранится в БД и отделена от использующих ее программ, то имеется возможность их настройки с учетом требований конкретного потребителя путем изменения содержимого БД при условии сохранения ее (БД) структуры. Основная рабочая информация включает в себя априорную информацию о контролируемом изделии и всех его сварных соединениях, изображения контролируемых участков, результаты расшифровки изображений и сварных соединений. К основным априорным данным следует отнести, во-первых, тип и размеры конструктивных элементов каждого сварного соединения; во-вторых, технологию контроля (схему просвечивания, требуемую чувствительность контроля, нормы оценки допустимости дефектов и другие). Дефектосокопист вводит априорные данные или выбирает их из справочников до начала ввода и записи в БД изображений участков контроля. Расшифровку изображения выполняют только после его записи в БД, так как при этом устанавливается связь между изображением и описанием соответствующего сварного соединения.

В ПО "КАРС" реализованы следующие основные операции расшифровки радиационных изображений сварных соединений:

поиск, определение размеров и классификация изображений одиночных дефектов и их (дефектов) оценка;

поиск скоплений изображений дефектов (ИД) и их (скоплений дефектов) оценка;

поиск и оценка наихудшего участка сварного соединения; оценка качества

сварного соединения в целом;

выпуск заключения о качестве одного или нескольких сварных соединений. Первой операцией расшифровки является операция поиска ИД. Эта задача на радиационном изображении объекта контроля решается как задача обнаружения полезного сигнала в смеси, состоящей из фона, полезного сигнала и шума [4], которая достаточно хорошо изучена. При построении обнаружителей используют априорную информацию об идеальном сигнале и процессе формирования наблюдаемого сигнала. В связи с этим следует отметить ряд отличий рассматриваемой задачи от классических задач обнаружения:

наблюдаемое изображение представляет собой двумерный сигнал, то есть функцию двух пространственных координат;

наличие ненулевого, неоднородного изображения фона, характер изменения которого определяется формой объекта контроля;

заранее неизвестный, широкий диапазон изменения параметров ИД; сложный, обусловленный множеством факторов, механизм формирования измерительного шума.

Перечисленные выше отличия, с одной стороны, усложняют решение рассматриваемой задачи, с другой — должны быть учтены в алгоритме обнаружения.

К основным параметрам, характеризующим ИД, следует отнести максимальный размер (длину), максимальный размер изображения дефекта в направлении, перпендикулярном отрезку максимального размера (ширину), и контраст (максимальный или средний). По значениям перечисленных параметров ИД целесообразно разбить на три группы: изображения крупных, обычных и протяженных слабоконтрастных дефектов. При этом в группу крупных включают ИД, ширина которых соизмерима с размерами объекта контроля. Например, для стыковых кольцевых сварных соединений ширину изображения дефекта следует сравнивать с половиной средней ширины изображения сварного соединения. Такие ИД обладают высоким контрастом и

соответствуют, как правило, очень крупным усадочным раковинам, прожогам, свищам, порам или неметаллическим включениям. Особенность поиска изображений крупных дефектов состоит в том, что их трудно отделить от изображения фона, если использовать информацию об их размерах. В группу протяженных слабоконтрастных включаются ИД, у которых длина в три и более раз больше ширины, а контраст соизмерим с отклонениями изображения фона с учетом измерительного шума. Такие изображения могут иметь место, например, при наличии слабозаметных трещин или непроваров. ИД, которые не попадают в группы крупных и протяженных слабоконтрастных, образуют группу обычных, которые характеризуются достаточно высоким (в два и более раз превышающим контрастную чувствительность контроля) контрастом и небольшой (по отношению к размерам изображения окружающего фона) шириной.

Укрупненная блок-схема алгоритма поиска изображений дефектов представлена на рис. 2.4, где показано, что при поиске ИД последовательно выполняют три операции: поиск крупных, обычных и протяженных слабоконтрастных. Такая последовательность обработки обусловлена тем, что крупные и, как правило, высококонтрастные ИД затрудняют обнаружение расположенных рядом с ними ИД, имеющих меньшие размеры и контраст

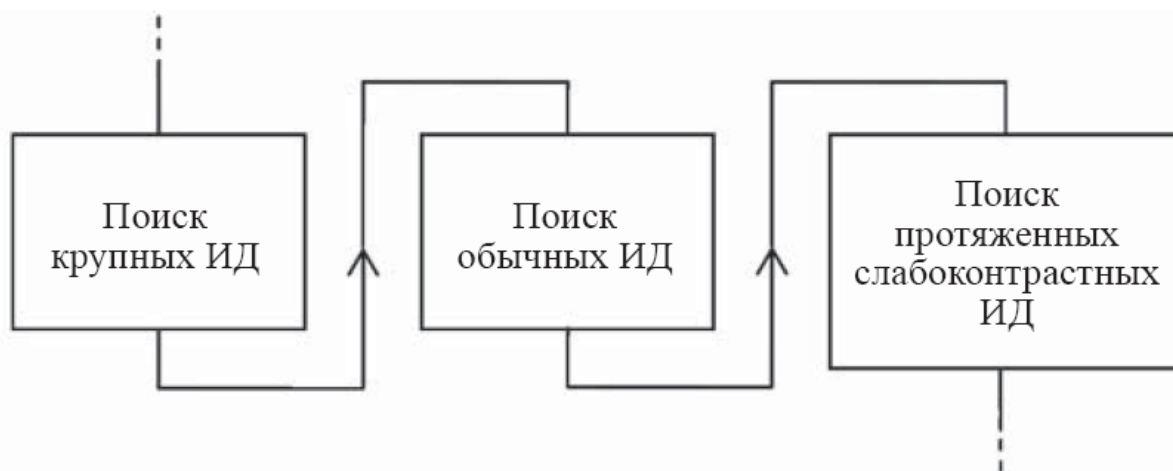


Рисунок 2.4 – Укрупненная блок-схема алгоритма поиска изображений.

На практике обычные и протяженные слабоконтрастные ИД встречаются значительно чаще, чем крупные, поиск которых выполняют за несколько проходов (итераций). В каждом проходе обеспечивается обнаружение ИД с разными размерами, при увеличении номера прохода они уменьшаются. Для обнаружения ИД в каждом проходе сначала определяют оценку фона [5]. Далее для каждого пикселя обрабатываемого изображения вычисляют меру его отклонения от оценки фона. В качестве меры отклонения, например, может использоваться средняя по некоторой окрестности пикселя яркость, средний по некоторой окрестности пикселя контраст или приведенный контраст. Затем величину отклонения сравнивают с порогом обнаружения: если ее модуль превышает порог обнаружения, то считают, что пиксель принадлежит ИД. В результате формируется трехуровневое изображение (рисунок), каждый пиксель которого может принимать одно из трех возможных значений: 1 — пиксель темного ИД; 2 — пиксель фона; 3 — пиксель светлого ИД. Используя рисунок, формируется первичная информация об обнаруженных ИД, в состав которой входит массив пикселей обрабатываемого изображения, принадлежащих ИД и образующих его контур, который, представляет собой замкнутую линию шириной в один пиксель, в ней отсутствуют петли. Элементы массива, описывающего контур изображения дефекта, упорядочены таким образом, что соседним элементам соответствуют расположенные рядом пиксели контура.

По первичной информации вычисляют оценки вторичных параметров ИД, которые затем используют для классификации дефекта и оценки его допустимости. К числу вторичных параметров ИД относятся длина, ширина, размер в направлении просвечивания и признаки формы, расположения, ориентации. Для определения класса (типа) дефекта применяют эвристический классификатор, построенный с учетом обобщения опыта промышленной радиографии [2]. Классификатор представляет собой иерархический алгоритм, в котором на каждом уровне проверяется набор условий в виде неравенств. В каждом условии используют вычисленные оценки вторичных

параметров ИД и частные критерии классификации в виде граничных значений, определяющих некоторое подмножество типов дефектов. По знаку контраста ИД делятся на две группы: темные и светлые. Далее внутри каждой группы по величине отношения длины к ширине ИД снова разбиваются на две группы: компактные и протяженные и т. д. Классификатор формирует две наиболее вероятные оценки типа дефекта, при этом одна из них является более предпочтительной и используется в качестве основной. После определения типа одиночного дефекта оценивают его допустимость по соответствующей НТД.

Для определения совместного влияния обнаруженных одиночных дефектов выполняют поиск скоплений дефектов и оценку их (скоплений) допустимости. Основным критерием включения одиночного ИД в одиночное скопление является минимальное расстояние между внешними контурами изображений одиночных дефектов. В зависимости от НТД дополнительными критериями скоплений являются: минимальное количество, тип и взаимное расположение входящих в него одиночных дефектов. Формирование скоплений ИД выполняется итерационно: сначала — поиск и определение контура одиночных скоплений, затем — скоплений, состоящих из ранее найденных одиночных скоплений и оставшихся одиночных и т.д. Изображения одиночных дефектов, вошедших в скопления, далее не рассматриваются.

Заключительной операцией расшифровки является оценка качества сварного соединения, которая в свою очередь формируется на основе оценок допустимости одиночных дефектов и их (дефектов) скоплений. Известно, что различные объекты контроля (оборудование нефтяной и газовой промышленности, системы газоснабжения, объекты котлонадзора и другие) контролируются по различным методикам, изложенным в соответствующих НТД. Отличия в методиках контроля, в частности, касаются критериев оценки качества. В разработанном ПО реализован универсальный алгоритм, который позволяет определять качество сварных соединений по различным

критериям, изложенным в НТД [3]. При этом используют следующие основные параметры одиночных дефектов и их скоплений: длину, ширину; максимальные размеры в направлении просвечивания, вдоль и поперек сварного соединения.

Для оценки качества всего сварного соединения дополнительно определяют несколько обобщенных параметров, к числу которых относятся:

максимальная сумма длин дефектов или сумма длин дефектов вдоль сварного соединения, сгруппированных по некоторому критерию (например, внутренние дефекты), на участке сварного соединения заданной длины (участок длиной 100, 300 мм или равный длине сварного соединения);

максимальное количество дефектов, сгруппированных по некоторому критерию, на участке сварного соединения заданной длины;

максимальная сумма площадей дефектов, сгруппированных по некоторому критерию, на участке сварного соединения заданной длины.

Каждый используемый параметр (одиночного дефекта или скопления, или обобщенный параметр) сравнивают с одним или несколькими предельно допустимыми значениями. По результатам такого сравнения с учетом выбранного критерия определяют качество сварного соединения.

Так как изображение сварного соединения часто хранится в виде набора изображений его участков, то операцию определения допустимости одиночных дефектов и скоплений выполняют в ходе расшифровки изображений отдельных участков, а операцию вычисления обобщенных параметров и оценки качества всего сварного соединения — после расшифровки изображений всех участков. Результаты, полученные на разных этапах расшифровки, накапливаются в базе данных и затем их используют для формирования заключения о качестве объекта контроля.

### 3 Оборудование для реализации выбранных методов контроля

#### 3.1 Оборудование для УЗК контроля

По принципу выбранного метода фронтальной ПСП работает прибор А1550 Интровизор, рисунок 3.1.



Рисунок 3.1 – Общий вид прибора Интровизор  
Экран прибора приведен на рисунке 3.2.

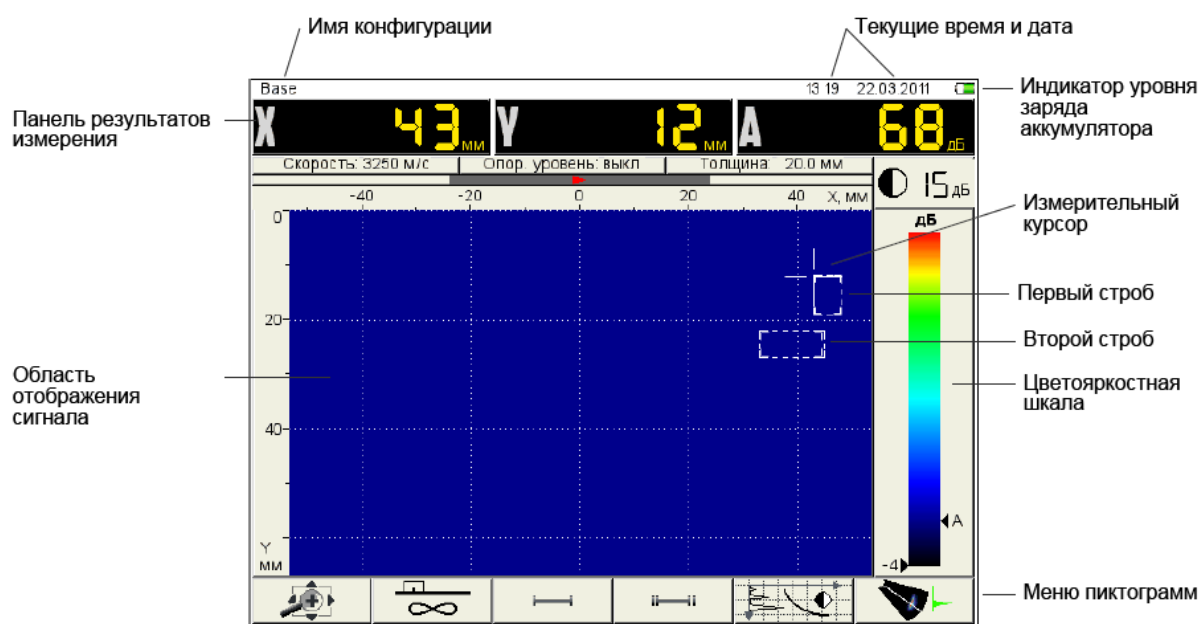


Рисунок 3.2 – Экран прибора Интровизор

### 3.2 Программное обеспечение для автоматизации рентгеновского контроля

На рисунке 3.3 представлено окно программы для расшифровки дефектов – главное окно «Специальная обработка»

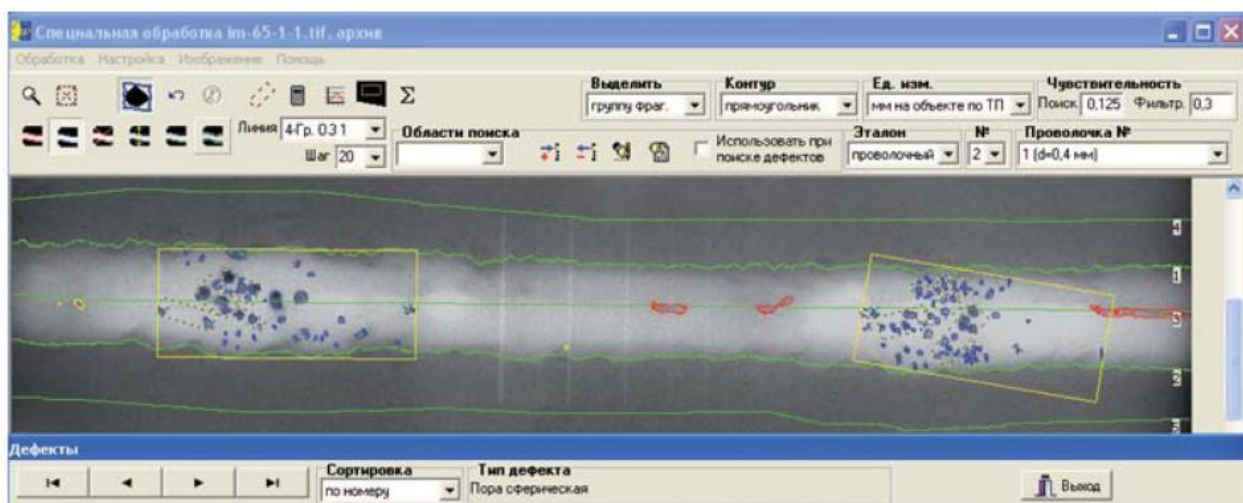


Рисунок 3.2 – Окно программы специальная обработка

Главное окно содержит изображение, на котором зеленым цветом выделены область поиска, контуры ИД и границы сварного соединения. При этом компактные одиночные ИД выделены желтым цветом, а протяженные одиночные ИД — красным. Скопления ИД отмечены желтым прямоугольником, а ИД, входящие в эти скопления — синим цветом.

На рисунке 3.3 изображено окно программы «Дефекты». Окно "Дефекты" содержит таблицы "Дефекты", "Дефекты для заключения" и другие элементы просмотра и управления. В таблице "Дефекты" отображается информация об одиночных ИД и их скоплениях: длина, ширина, размер в направлении просвечивания, тип, оценка допустимости и другие.



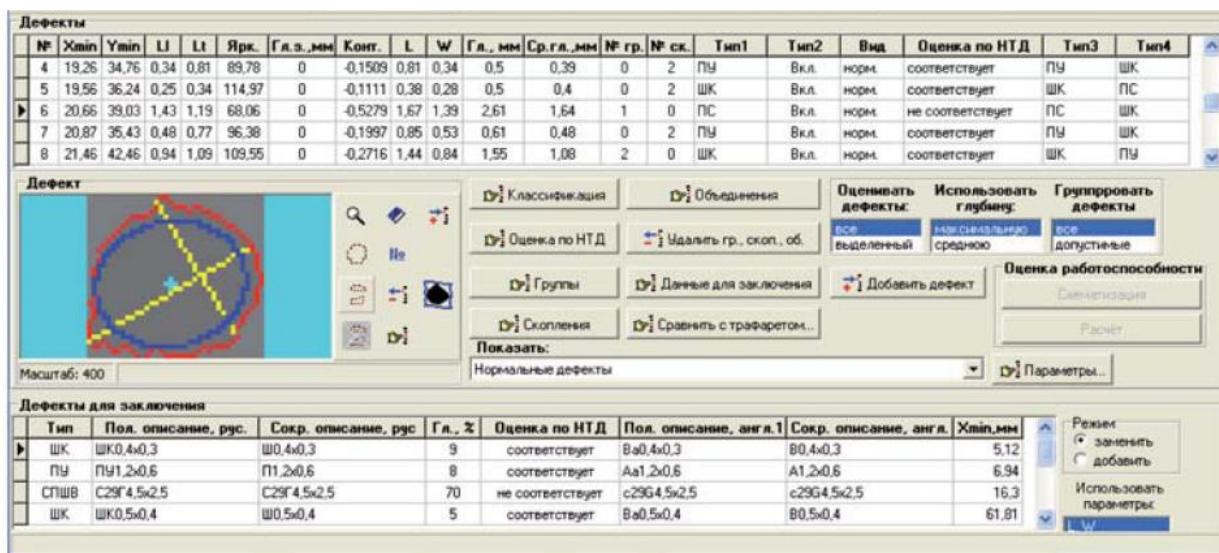


Рисунок 3.4 – Окно дефекты

Формирование скоплений ИД осуществляется после поиска одиночных ИД по команде дефектоскописта щелчком на кнопке "Скопления" окна "Дефекты".

На панели "Дефект" окна "Дефекты" для визуального анализа выводится псевдоизображение дефекта, выбранного в таблице "Дефекты", на котором изображены цветами: контур ИД — красным; его длина и ширина — желтым; эллипс, вписанный в контур — синим; центр тяжести ИД — бирюзовым крестом. В таблице "Дефекты для заключения" содержатся данные, по которым формируется заключение о качестве объекта контроля. Эта таблица заполняется по команде дефектоскописта щелчком на кнопке "Данные для заключения". В каждой строке таблицы "Дефекты для заключения" находятся элементы описания дефекта, из которых затем формируют полное описание дефекта в зависимости от выбранной дефектоскопистом формы заключения.

## **4 Безопасность и экологичность технического объекта.**

### **4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта.**

Тема выпускной квалификационной работы: «Контроль качества сварных соединений внутреннего газопровода диаметром менее 400 мм».

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

№ п/п	Технологический процесс	Выполняемые работы	Должности работников, реализующих данный техпроцесс	Вновь установленное оборудование	Вспомогательные материалы
1	Выполнение операции контроля сварных соединений	Подготовка, контроль, анализ результатов	Слесарь-сборщик, сварщик изделий из тугоплавких металлов,	УЗК дефектоскоп А1550 Интровизор	Масло машинное

### **4.2 Риски, сопровождающие технологию контроля сварных труб.**

Различные негативные производственные факторы при действии на организм работников, реализующих разработанный в бакалаврской работе технологический процесс могут вызвать нетрудоспособность работника. В таблице 4.2 систематизируем и проанализируем выявленные на участке контроля трубопровода негативные производственные факторы.

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков.

Выполняемые работы	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
Подготовка, контроль, анализ результатов	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки. повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, от которого запитано оборудование;	УЗК дефектоскоп А1550 Интровизор, масло машинное

#### **4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков**

Уже внедренные на производственном участке и разработанные в рамках бакалаврской работы мероприятия по снижению негативного действия профессиональных рисков систематизируем и проанализируем в таблице 4.3. В таблицу не будем включать такие организационные мероприятия, как инструктажи по технике безопасности.

Таблица 4.3 – Мероприятия и средства уменьшения негативного действия профессиональных рисков.

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Острые кромки		Перчатки, спецодежда.
движущиеся детали оборудования и заготовки	Плакаты и надписи, барьеры и ограждения.	
повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке	вентиляция	Средства защиты дыхательных путей
повышенная температура оборудования и воздуха участка	вентиляция	Спецодежда, перчатки
повышенное напряжение, от которого запитано оборудование;	Заземление, контроль изоляции.	

#### **4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки.**

В таблице 4.4 выполним анализ возможных опасных факторов, сопровождающих пожар, при его возникновении на производственном участке.

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Контроля трубопровода	УЗК дефектоскоп А1550 Интровизор,	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов в электроустановках, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; выделение вредных продуктов при горении; Уменьшение содержания кислорода при горении; дым препятствует нормальной видимости.	Повреждение из-за высокой температуры электрической изоляции на проводах может привести к поражению электрическим током; действие на человека веществ, применяемых для пожаротушения

Таблица 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили (вызываются)	Не применяются	Не применяются	Краны пожарные напорные пожарные	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка,

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
УЗК контроль	обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом по поводу пожарной безопасности, создание добровольной пожарной дружины.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

#### 4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (здания по функциональному назначению, технологические операции, оборудование),	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение
УЗК контроль сварных соединений	УЗК дефектоскоп А1550 Интровизор,	газообразные частицы; сажа;	масло	упаковка от электродов, бумажная, полиэтиленовая; бытовой мусор.

Таблица 4.8 – Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Фильтры в системе вентиляции участка задержат мелкодисперсные частицы сажи
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Важным является соблюдение культуры производства, исключение утечек машинного масла.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Размещение на территории участка кузовного ремонта емкостей для селективного сбора металлолома, бытовых отходов и производственных отходов. На емкостях или рядом стоящих плакатах необходимо нанести предписывающие сообщения. С рабочими необходимо провести разъяснение по необходимости селективного складирования отходов. Желательно периодически, во время ежеквартального инструктажа по технике безопасности, разъяснять производственному персоналу правила сбора твердых отходов

#### 4.6 Заключение по разделу

Планируемый к внедрению технологический процесс контроля сварных соединений трубопровода сопровождается факторами, оказывающими вредное воздействие на рабочих производственного участка.

Сделан анализ возможности снижения негативного действия выявленных факторов на рабочих и полного устранения их действия. По результатам анализа можно сделать вывод, что уже применяемые на производстве средства защиты и организационные мероприятия по технике безопасности обеспечат безопасность работника при реализации

разработанного при выполнении бакалаврской работы технологического процесса контроля сварных соединений.

Установлено, что дополнительных мероприятий и средств для защиты от опасных и вредных факторов, сопровождающих процесс контроля, не нужно.

Также технология контроля оказывает негативное влияние на окружающую среду. Для минимизации такого влияния предложен комплекс организационных мероприятий..



## 5 Экономическая эффективность проекта

В выпускной квалификационной работе предложены технологические мероприятия по повышению производительности и качества выполнения контроля. При выполнении базовой технологии контроля предусматривается применение при ультразвуковом контроле метода фронтальной ПСП и метода компьютерной обработки изображений с использованием программы «КАРС». Перечисленные методы отличаются высокой информативностью, в результате чего при меньших затратах времени контроля выявляем дефекты. Применение предложенных технологических решений позволит получить некоторое снижение трудоемкости контроля.

Сравнительная характеристика базового варианта и проектного представлена в таблице 5.1. Здесь указаны недостатки базового варианта, и как они будут устранены в проектном.

Таблица 5.1.

Базовый вариант	Проектный вариант
Малая информативность применяемого метода УЗК контроля приводит к тому, что оператору надо тратить много времени для контроля сварного стыка, выполняя несколько проходов датчиком.	Высокоинформативный метод фронтальной ПСП позволяет за один проход получить весь комплекс необходимой информации.
Осмотр рентгеновских снимков выполняется дефектоскопистом визуально, при этом возможны разночтения в определении дефектов и время контроля длинное..	Применение информационных технологий позволяют повысить как точность определения дефекта так и сократить время..

## 5.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для проведения экономического расчета

Показатель	Усл. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
			Базов.	Проект
2	3	4	5	6
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Ктз	-	1,05	1,05
Часовая тарифная ставка	Сч	Руб/час	95,29	84,87
Процент отчислений на дополнительную заработную плату	-	%	12	12
Коэффициент отчислений на социальные нужды	Ксн	%	36	36
Балансовая стоимость оборудования	Цоб	Руб	45000	82000
Норма амортизационных отчислений на оборудование	На	%	18	18
Мощность установки	Му	кВт	4,9	5,8
Коэффициент полезного действия установки	КПД	-	0,7	0,85
Стоимость электроэнергии	Цээ	Руб/кВт	3,02	3,02
Удельный расход защитного газа	Узг	М <sup>3</sup> /час	-	50
Стоимость защитного газа	Цзг	Руб/м <sup>3</sup>	-	50
Стоимость аренды площади	Сэкспл	Руб/м <sup>2</sup>	1800	1800
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	2,50	2,50
Площадь занимаемая оборудованием	S	М <sup>2</sup>	6	9
Норма амортизационных отчислений на площадь	Напл	%	5	5
Стоимость приобретения производственных площадей	Цпл	Руб/м <sup>2</sup>	4500	4500
Коэффициент заводских расходов	Кзав	-	2,15	2,15
Коэффициент внепроизводственных расходов	Квн	-	0,05	0,05
Коэффициент учитывающий. затраты на монтаж (демонтаж оборудования)	Кмонт	-	1,2	1,2
Нормативный коэффициент экономической эффективности дополнительных капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Программа годовая	Пг	Шт	500	500

## 5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Расчет норм времени будем производить на изменяющиеся операции технологического процесса по базовому и проектному варианту.

Время штучное

$$t_{шт} = t_0 + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з} \quad (5.1)$$

где  $t_0$  – машинное время;

$t_{всп}$  – вспомогательное время,  $t_{всп}=10\%$  от  $t_{маш}$ ;

$t_{обсл}$  – время обслуживания оборудования и рабочего места,  $t_{обсл} = 8\%$  от  $t_{маш}$ ;

$t_{отл}$  – время на личный отдых рабочего,  $t_{отл} = 5\%$  от  $t_{маш}$ ;

$t_{п-з}$  - время подготовительно-заключительное,  $t_{п-з} = 1\%$  от  $t_{маш}$ .

Для базового и проектного варианта общая протяженность сварных швов одинакова, и время контроля определим с технологических карт.

Базовый вариант 2,94 минуты, проектный 1,62 минуты

Подставив в (5.1) необходимые значения, получим:

$$t_{штб} = 2,94 + 0,294 + 0,147 + 0,235 + 0,029 = 3,64 \text{ мин} = 0,060 \text{ час}$$

$$t_{штп} = 1,62 + 0,162 + 0,081 + 0,129 + 0,0162 = 2,00 \text{ мин.} = 0,033 \text{ час.}$$

## 5.3 Расчет затрат на новое оборудование

$$K_{общ} = K_{пр} + K_{соп} \quad (5.5)$$

где  $K_{пр}$  – затраты непосредственно на закупку оборудования, прямые, руб.;

$K_{соп}$  – финансовые затраты на демонтаж старого, установку нового оборудования, сопутствующие, руб.

Расчет прямых финансовых затрат выполним по зависимости:

$$K_{пр} = \sum \Pi_{об} \cdot k_3 \quad (5.6)$$

где  $\sum \Pi_{об}$  – суммарные финансовые затраты на закупку оборудования, руб.;

$k_3$  – коэффициент загрузки оборудования.

Для определения коэффициента загрузки оборудования вначале рассчитаем нужное количество оборудования по формуле:

$$n_{\text{об.расчетн}} = \frac{N_{\text{пр}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 60} \quad (5.7)$$

где  $N_{\text{пр}}$  – годовая программа, см. табл. 5.2, 500 шт.;

$t_{\text{шт}}$  – время, расходуемое на сварку одного стыка трубопровода (штучное), мин.;

$\Phi_{\text{эф}}$  – фонд времени работы оборудования, час.

Необходимое количество оборудования, определенное по (5.7) может быть дробным числом, поэтому округляем до целого ( $n_{\text{об.прин}}$ ).

Для расчета коэффициента загрузки воспользуемся формулой:

$$k_z = \frac{n_{\text{об.расчетн}}}{n_{\text{об.прин}}} \quad (5.8)$$

Фонд времени определим по формуле:

$$\Phi_{\text{эф}} = (D_k - D_{\text{вых}} - D_{\text{пр}}) * T_{\text{см}} * S * (1 - k_{\text{р.п}}) \quad (5.9)$$

где  $D_k$  – всего дней в году;

$D_{\text{вых}}$  – всего выходных в году;

$D_{\text{пр}}$  – всего праздничных дней в году;

$T_{\text{см}}$  – длительность рабочей смены на предприятии, час;

$S$  – принятое на предприятии количество рабочих смен;

$k_{\text{р.п}}$  – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{\text{эф}} = (365 - 110 - 14) * 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

Для базового варианта технологии

$$n_{\text{об.расчетн.б}} = \frac{500 * 4,21}{1812 * 60} = 0,027 \text{ шт}$$

$$k_{зб} = \frac{0,027}{1} = 0,027$$

$$K_{прб} = 40000 \cdot 0,027 = 1080 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$n_{об.расчетн.пр} = \frac{500 \cdot 2,00}{1812 \cdot 60} = 0,012 \text{ шт}$$

$$k_{зпр} = \frac{0,012}{1} = 0,012$$

$$K_{прпр} = 70000 \cdot 0,012 = 840 \text{ руб.}$$

Сопутствующие финансовые затраты определяются расчетным путем только для проектного варианта:

$$K_{соп} = K_{монт} + K_{дем} + K_{площ} \quad (5.10)$$

$K_{монт}$  – финансовые расходы, необходимые для выполнения монтажа оборудования для проектного варианта технологии;

$K_{дем}$  – финансовые расходы, необходимые для выполнения демонтажа оборудования применяемого в базовом варианте технологии;

$K_{площ}$  – финансовые расходы на дополнительные площади, необходимые для установки оборудования для проектного варианта технологии.

$$K_{монт} = \sum \Pi_{об} \cdot k_{монт} \quad (5.11)$$

где:  $k_{монт}$  – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям

$$k_{монт} = 0,2.$$

$$K_{монт} = 70000 \cdot 0,2 = 14000 \text{ руб}$$

$$K_{дем} = \sum \Pi_{об} \cdot k_{дем} \quad (5.12)$$

где  $k_{\text{дем}}$  – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям,  $k_{\text{дем}} = 0,2$

$$K_{\text{дем}} = 40000 \cdot 0,2 = 8000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{площ}} = S_{\text{площ}} \cdot \Pi_{\text{площ}} \cdot g \cdot k_3 \quad (5.13)$$

где  $g$  – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{\text{площ}} = 3 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 0,12 = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{пр}} = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ}}^{\text{пр}} = 840 + 14000 + 8000 + 5400 = 28240 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.14)$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{БАЗ}} = 1080/700 = 1,54 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{пр}} = 28240/700 = 40,34 \text{ руб.}$$

Общий размер финансовых расходов на материалы определяется как сумма расходов на основные материалы и вспомогательные:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{осн}} + ЗМ_{\text{всп}}$$

Поскольку конструкция изделия изменений не претерпевает, и в базовом варианте и в проектном материал изделия не меняется, первое слагаемое формулы, финансовые расходы на основные материалы, расчету не подлежит.

Для применяемой в настоящее время на предприятии технологии сварки в качестве вспомогательных материалов используют масло машинное, расход которого не меняется, поэтому не считаем

Финансовые расходы на электрическую энергию

$$З_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{об}} \cdot t_{\text{о}}}{\text{КПД}} \Pi_{\text{э-э}} \quad (5.15)$$

где  $P_{об}$  – мощность, расходуемая оборудованием при выполнении контроля сварного соединения, кВт;

$Ц_{э-э}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – коэффициент полезного действия оборудования, задействованного при выполнении контроля сварного соединения.

Мощность расходуемую оборудованием при выполнении контроля сварного соединения вычислим по режимам сварки: сила сварочного тока и напряжение дуги.

Для базового варианта технологии

$$P_{обб} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^б = \frac{3,6 \cdot 0,056}{0,7} \cdot 3,02 = 0,86 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$P_{обпр} = 210 \cdot 30 = 6300 \text{ Вт} = 6,3 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^{пр} = \frac{6,3 \cdot 0,027}{0,75} \cdot 3,02 = 0,68 \text{ руб.}$$

На следующем этапе выполняем расчет затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования как суммы затрат на амортизацию и ремонт.

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (5.16)$$

где  $A_{об}$  – отчисления на амортизацию, руб.;

$P_{т.р}$  – отчисления на ремонт, руб.;

Отчисления на амортизацию рассчитаем по зависимости:

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} \cdot На_{об} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60 \cdot 100} \quad (5.17)$$

где  $Ц_{об}$  – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб.;

$На_{об}$  – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{\text{об}}^{\text{б}} = \frac{40000 \cdot 4,21 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,27 \text{ руб.}$$

$$A_{\text{об}}^{\text{пр}} = \frac{70000 \cdot 2,00 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,23 \text{ руб.}$$

Отчисления на ремонт рассчитаем по зависимости:

$$P_{\text{т.р}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{т.р}} \cdot k_3}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100} \quad (5.18)$$

где  $H_{\text{т.р}}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования,  $\approx 35\%$ ;

$$P_{\text{тр}}^{\text{б}} = \frac{40000 \cdot 35 \cdot 0,027}{1812 \cdot 100} = 0,20 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{тр}}^{\text{пр}} = \frac{70000 \cdot 35 \cdot 0,012}{1812 \cdot 100} = 0,16 \text{ руб.}$$

Суммарные расходы на содержание и эксплуатацию

$$Z_{\text{об}}^{\text{б}} = 0,27 + 0,20 = 0,47 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{об}}^{\text{пр}} = 0,23 + 0,16 = 0,39 \text{ руб.}$$

Для определения размера отчислений на площади, на которых установлено оборудование и оснастка базового и проектного вариантов технологии воспользуемся зависимостью:

$$Z_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{пл}} \cdot S_{\text{пл}} \cdot N_{\text{пл}} \cdot t_{\text{шт}}}{\Phi_{\text{эф}} \cdot 100 \cdot 60} \quad (5.19)$$

где:  $C_{\text{пл}}$  – цена  $1\text{ м}^2$  производственной площади, руб.;

$N_{\text{пл}}$  – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{\text{пл}}$  – площадь, занимаемая сварочным оборудованием,  $\text{м}^2$ ;

$$Z_{\text{пл}}^{\text{б}} = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 4,21}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,015 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{пл}}^{\text{пр}} = \frac{4500 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 2,00}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,015 \text{ руб.}$$



На следующем этапе определяем затраты по оплате труда

Фонд заработной платы определим как сумму:

$$\Phi ЗП = ЗПЛ_{осн} + ЗПЛ_{доп} \quad (5.20)$$

где  $ЗПЛ_{осн}$  - основная зарплата;

$ЗПЛ_{доп}$  - дополнительная зарплата.

$$ЗПЛ_{осн} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot k_{зпл} \quad (5.21)$$

где  $C_{ч}$  – значение тарифной ставки, руб/час;

$t_{шт}$  – штучное время, час;

$k_{зпл}$  – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{зпл} = k_{пр} \cdot k_{вн} \cdot k_{у} \cdot k_{пф} \cdot k_{н} \quad (5.22)$$

где  $k_{пр} = 1,25$  – коэффициент премирования;

$k_{вн} = 1,1$  – коэффициент выполнения норм;

$k_{у} = 1,087$  – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{пф} = 1,14$  – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{н} = 1,076$  – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{зпл} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,087 \cdot 1,14 \cdot 1,076 = 1,79$$

$$ЗПЛ_{осн}^Б = 0,034 \cdot 95,2 \cdot 9 \cdot 1,79 = 5,79 \text{ руб.}$$

$$ЗПЛ_{осн}^{пр} = 0,016 \cdot 84,8 \cdot 7 \cdot 1,79 = 2,43 \text{ руб.}$$

Дополнительная определяется по следующей зависимости:

$$ЗПЛ_{доп} = \frac{k_{д}}{100} \cdot ЗПЛ_{осн} \quad (5.23)$$

где  $k_{д}$  – коэффициент - 10%.

Для базового варианта технологии

$$ЗПЛ_{доп}^Б = 5,79 \cdot 10/100 = 0,57 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$ЗПЛ_{ДОП}^{ПР} = 2,43 \cdot 10/100 = 0,24 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{Б} = 5,79 + 0,57 = 6,36 \text{ руб.}$$

$$\PhiЗП_{ПР} = 2,43 + 0,24 = 2,67 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{CH} = \PhiЗП \cdot N_{СОЦ} / 100 \quad (5.24)$$

где  $N_{СОЦ}$  – коэффициент отчислений, 30 %.

Для базового варианта технологии

$$O_{CH}^Б = 6,36 \cdot 30/100 = 1,90 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$O_{CH}^{ПР} = 2,67 \cdot 30/100 = 0,80 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость

Для определения размера технологической себестоимости

просуммируем все расходы, найденные выше:

$$C_{ТЕХ} = ЗМ + З_{Э-Э} + З_{ОБ} + З_{ПЛ} + \PhiЗП + O_{CH} \quad (5.25)$$

Для базового варианта технологии

$$C_{ТЕХ}^Б = 98,48 + 0,86 + 0,47 + 0,015 + 6,36 + 1,90 = 108,085 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{ТЕХ}^{ПР} = 53,32 + 0,68 + 0,39 + 0,015 + 2,67 + 0,80 = 57,87 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость

$$C_{ЦЕХ} = C_{ТЕХ} + P_{ЦЕХ} \quad P_{ЦЕХ} \quad (5.26)$$

где  $P_{ЦЕХ}$  – финансовые затраты на цеховые расходы, руб.

$$P_{ЦЕХ} = C_{ТЕХ} + k_{ЦЕХ} \cdot Z_{ОСН} \quad Z_{ОСН} \quad (5.27)$$

где  $k_{ЦЕХ}$  – коэффициент цеховых расходов, 2,5;

$Z_{\text{ОСН}}$  – основная зарплата, руб.

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{Б}} = 108,085 + 5,79 \cdot 1,72 = 108,085 + 9,95 = 118,035 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 57,87 + 2,43 \cdot 1,72 = 57,87 + 4,17 = 62,04 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (5.28)$$

где  $P_{\text{ЗАВ}}$  – финансовые затраты на заводские расходы, руб.

$k_{\text{ЗАВ}}$  – коэффициент заводских расходов, 1,8

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{Б}} = 118,035 + 5,79 \cdot 1,97 = 118,035 + 11,40 = 129,44 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЗАВ}}^{\text{ПР}} = 62,04 + 2,43 \cdot 1,97 = 62,04 + 4,78 = 66,82 \text{ руб.}$$

Калькуляция себестоимости

Таблица 5.3 – Перечень и значения статей затрат на сварку одного дефекта кузова автомобиля

Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
		базов	Проект
Материалы	ЗМ	98,48	53,32
Фонд заработной платы	ФЗП	6,36	2,67
Отчисления на социальные нужды	О <sub>СН</sub>	1,90	0,80
Затраты на оборудование	З <sub>ОБ</sub>	0,47	0,39
Затраты на площади	З <sub>ПЛ</sub>	0,015	0,015
Затраты на электроэнергию	З <sub>Э-Э</sub>	0,63	0,49
Себестоимость технологическая	С <sub>ТЕХ</sub>	108,09	57,87
Цеховые расходы		11,50	3,82
Себестоимость цеховая	С <sub>ЦЕХ</sub>	118,04	62,04

Заводские расходы		11,40	4,78
Себестоимость заводская	$C_{ЗAB}$	129,44	66,82

### 5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений

Величину прибыли, ожидаемой от снижения себестоимости контроля сварного стыка, определим по формуле:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.29)$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = (129,44 - 66,82) \cdot 500 = 33280 \text{ руб.}$$

Величину годового экономического эффекта, ожидаемого от внедрения технических решений, обеспечивающих увеличение производительности, определим по формуле:

$$\text{Э}_{\Gamma} = [(C_{\text{ЗAB}}^{\text{б}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{б}}) - (C_{\text{ЗAB}}^{\text{пр}} + E_{\text{н}} \cdot K_{\text{уд}}^{\text{пр}})] \cdot N_{\text{пр}} \quad (5.30)$$

$$\text{Э}_{\Gamma} = [(129,44 + 0,33 \cdot 1,54) - (66,82 + 0,33 \cdot 40,34)] \cdot 500 = 24710 \text{ руб.}$$

Размер уменьшения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штб}} - t_{\text{штпр}}}{t_{\text{штб}}} \cdot 100\% \quad (5.31)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,034 - 0,016}{0,034} \cdot 100\% = 43\%$$

Размер увеличения производительности труда

$$\Delta \Pi_{\Gamma} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (5.32)$$

$$\Delta \Pi_{\Gamma} = \frac{100 \cdot 43}{100 - 43} = 75\%$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\text{Э}_{\text{уг}}} \quad (5.33)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{28240}{33280} \approx 0,8 \text{года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{\text{ср}} = 1/T_{\text{ок}} = 1/0,8 = 1,25. \quad (5.34)$$

### 5.6 Выводы по разделу

Внедрение оборудования для контроля с большей производительностью позволило уменьшить на 43% трудоемкость контроля одного стыка трубопровода, при увеличении производительности труда на 75%.

Планируемый размер годового экономического эффекта составит 24710 руб.

Для внедрения оборудования с большей производительностью нужны финансовые затраты в размере 28240 руб., которые окупятся через 0,8 года.

С учетом полученных результатов расчетов можно сделать вывод о необходимости внедрения результатов бакалаврской работы в производственные условия для контроля сварных соединений технологических трубопроводов.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ базового технологического процесса контроля сварных соединений технологических трубопроводов показал, что присущие ему недостатки обусловлены низким уровнем выявляемости дефектов.

Разработан технологический процесс контроля с применением программы «КАРС» для компьютерного поиска дефектов сварного соединения. Для проведения УЗК контроля применяется оборудование интравизор, основанное на методе фронтальной ПСП. Поскольку информативность перечисленных методов выше, то и время затрачиваемое снижается.

Расчеты показали, что за счет внедрения более производительной технологии контроля сварных соединений технологических трубопроводов планируется получить годовой экономический эффект в размере 24710 руб.

Цель бакалаврской работы достигнута

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колганов, Л. А. Сварочное производство. Учебное пособие / Л.А. Колганов. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. - 512 с.
2. Алешин, Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений / Н.П. Алешин. М.: Машиностроение, 2006. - 368 с.
3. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. - М.: Высшая школа, 1986,- 167 с.
4. Бобров, В.Т. Влияние характера дефекта на эффективность ультразвукового контроля при радиочастотной сварке труб / В.Т. Бобров // Сварочное производство. 1969. № 6. С. 22 - 24.
5. Богод В.Б., Гурвич А.К. Исследование направленности поля искателя с качающимся ультразвуковым лучом // Дефектоскопия. 1975. № 4. С. 134 - 137.
6. Неразрушающий контроль: Справочник; В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 3: И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. Ультразвуковой контроль. - 2-е изд. испр. - М.: Машиностроение, 2006. - 864 е.: ил.
7. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / Под ред. В В. Клюева,- М.: Машиностроение, 2003. - 490 е.: ил.
8. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И.Н. Ермолов. - М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.
9. Гурвич А.К., Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. - Киев: Техника, 1972. - 460 с.
10. Бобров В.Т., Кондрацкий В.Я., Лебедева Н.А. и Заборовский О.Р. Установка для высокоскоростного контроля сварных швов труб в потоке // Дефектоскопия. 1968. № 5. С. 39 - 43.
11. Гладков Э.А. Интеллектуальная система мониторинга технологического процесса сварки кольцевых труб большого диаметра / Э.А. Гладков, А.И. Гаврилов, Р.А. Перковский, А.А. Коновод // Интеллектуальные системы:

- Тр. IX Межд. симп. / Под. ред. К.А. Пупкова. М.: РУСАКИ, 2010. С. 641—645.
12. Гладков Э.А. Автоматизированный комплекс для многослойной сварки кольцевых стыков труб магистральных трубопроводов со средствами адаптации и прогнозирования качества сварки / Э.А. Гладков, Р.А. Перковский, А.И. Гаврилов и др. // Наука и техника в газовой промышленности. 2009. № 4. С. 77—92.
  13. Межотраслевые правила по охране труда при электро- и газосварочных работах : ПОТ РМ-020-2001 : ввод. в действие с 1 янв. 2002 г. - Москва : [б. и.], 2001. - 58 с..
  14. Щекин В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов. - Изд. 2-е, перераб / В. А. Щекин - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
  15. Мейстер Р. А. Нестандартные источники питания для сварки : учеб. пособие / Р. А. Мейстер. - ВУЗ/изд. - Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2004. - 96 с.
  16. Цепенев Р. А. Автоматическое управление процессом сварки : учеб. пособие / Р. А. Цепенев ; ТолПИ ; Каф. "Оборуд. и технология сварочного пр-ва". - Тольятти : ТолПИ, 2001. - 76 с.
  17. Корольков П. М. Термическая обработка сварных соединений трубопроводов и аппаратов, работающих под давлением / П. М. Корольков. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Стройиздат, 1987. - 233 с.
  18. Акшенцева А. П. Структура и свойства никельмолибденовых коррозионностойких сплавов : (с атласом микроструктур) : справочник / А. П. Акшенцева. - Москва : СП Интернет Инжиниринг, 1999. - 204 с.
  19. Изучение сварочного трансформатора : метод. указания к лаб. работе №4 по дисциплине "Электротехнологические установки" / сост. М. А. Бондаренко [и др.] ; науч. ред. В. М. Салтыков ; ТГУ ; Каф. "Электроснабжение промышленных предприятий". - Тольятти : ТГУ, 2003. - 13 с.



20. Косинцев В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.
21. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. – М.: МЧС России, 1995.
22. Колганов Л. А. Сварочное производство : учеб. пособие / Л. А. Колганов. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2002. - 504 с.
23. Фатхутдинов Р.А. Организация производства: Учебник [Текст] / Р. А. Фахрутдинов – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
24. Гостюшин А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций [Текст] / А. В. Гостюшин. — М.: Изд. «Зеркало», 1995.-288 с.
25. Рыбаков В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ [Текст] / В.М. Рыбаков. - 2-е изд. перераб.- М.: Высш. школа, 1986.- 208 с.
26. Рыбаков А.М. Сварка и резка металлов. Учебник для средних профессионально-технических училищ [Текст] / А.М. Рыбаков. - М.: Высшая школа, 1977.
27. Чебац В.А. Сварочные работы: Учеб. пособие [Текст] / В.А. Чебац - 3-е изд. перераб.- Ростов-на-Дону: изд. центр «Феникс», 2006. - 412 с.
28. Волченко В.Н. Сварка и сварочные материалы, том . 1 [Текст] / В.Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1991 – 527 с.
29. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика [Текст] /В.В. Клюев. - М.: Машиностроение, 1995. - 390 с.
30. Думов С. И. Технология электрической сварки плавлением: Учебник для машиностроительных техникумов [Текст] / С.И. Думов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1987. - 368 с.
31. Величко, О.А. Лазерная наплавка цилиндрических деталей порошковыми материалами / О.А. Величко, П.Ф. Аврамченко, И.В. Молчан, В.Д. Паламарчук // Автоматическая сварка. – 1990. – № 1. – С. 59–65.

32. Шебеко Л. П. Экономика, организация и планирование сварочного производства : учебник для техникумов / Л. П. Шебеко, А. Д. Гитлевич. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1986. - 261, [2] с. :
33. Грачева К. А. Экономика, организация и планирование сварочного производства : [учеб. пособие для вузов] / К. А. Грачева. - Москва : Машиностроение, 1984. - 368 с. : ил. - Библиогр.: с. 364. -
34. Брейтман М. М. Экономика, организация и планирование сварочного производства : [учеб. пособие для машиностроит. техникумов] / М. М. Брейтман, Л. П. Шебеко. - Изд. 2-е, перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1970. - 256 с.