

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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)

05.04.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Методы контроля при сварке плавящимся электродом трубопровода»

Студент(ка)

Д.А. Гаврилов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Г.М.Короткова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель магистерской
программы д.т.н, профессор В.В. Ельцов

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Допустить к защите

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

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Состояние вопроса	6
1.1 Сварка плавящимся электродом при соединении стыков трубопроводов ..	6
1.2 Контроль при соединении стыков трубопроводов	12
1.3 Основные дефекты трубопроводов и причины их возникновения.....	20
1.4 Основы создания автоматизированных установок ультразвукового контроля	36
1.3 Задачи работы.....	46
2 Методика исследований.....	49
2.1 Влияние температуры на угол ввода колебаний.....	49
2.2 Влияние угла ввода колебаний на прохождение ультразвука	50
2.3 Определение числа отражений, при котором обеспечивается получение достоверных результатов.	53
2.4 Определение амплитуды эхо-сигнала в трубе, в зависимости от места ввода излучения	54
2.5 Исследование вариантов защиты от помех.....	55
3 Результаты исследований.....	59
3.1 Результаты исследований влияния температуры.....	59
3.3 Результаты исследования количества отражений, обеспечивающих достаточную точность.	59
3.4 Результаты определения амплитуды эхо-сигнала в трубе в зависимости от места ввода излучения.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	68
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	69

ВВЕДЕНИЕ

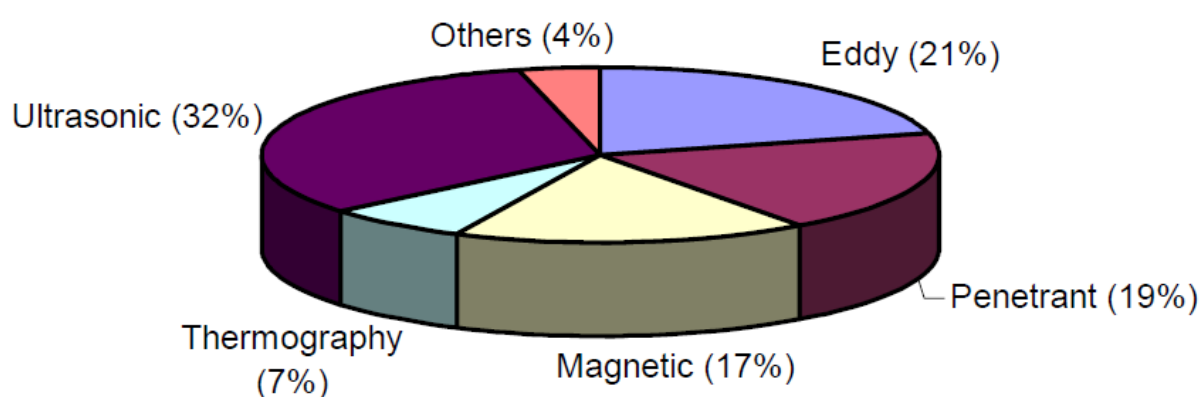
Приоритетные направления Российской науки и техники – создание энергоэффективных, энергосберегающих технологий. С учетом этого обеспечение эффективной надежной и безопасной добычи, транспортировки и потребления нефти требует постоянного увеличения объемов строительства трубопроводов, являющихся главным транспортным средством при транспортировке нефти от месторождений потребителю.

В процессе строительства трубопроводов выполняются множество технологических операций, так или иначе влияющих на качество трубопровода. Однако главное влияние на качество будущего трубопровода оказывают операции сварки стыков.

Отклонения заданных в технологии параметров процесса сварки, оказывают влияние на появление в сварном шве дефектов и на прочность трубопровода. С учетом того, что в полевых условиях добиться полного соответствия параметров режима сварки требованиям технологии сложно, важными в обеспечении качества сварных соединений являются операции контроля, технологическое оборудование и средства контроля сварных швов. Известно, что затраты на операции неразрушающего контроля могут достигать 20-25% всей стоимости сварной металлоконструкции. Трудоемкость операций контроля почти достигает уровня трудоемкости сварки. Суммарные затраты на техническую диагностику и выполняемые периодические обследования трубопроводов могут достигать до 10...15% суммарной стоимости трубопровода. Однако, в случае аварий на нефтепроводах, потери на ликвидацию последствий значительно превышают расходы на диагностику и обследования. Поэтому работы, направленные на совершенствование методов контроля сварных соединений трубопроводов являются актуальными.

Обеспечить отсутствие дефектов при сварке трубопроводов можно проводя только 100% -ый контроль высокопроизводительными методами и аппаратурой. При неразрушающем контроле при строительстве трубопроводов важное место занимает ультразвуковой контроль, рентгеновский, магнитный. У

каждого метода свои преимущества и недостатки, поэтому одним методом обеспечить всеобъемлющий контроль проблематично. Это обусловлено тем, что получаемые при разных методах сварки дефекты отличаются своими характеристиками. Однако на практике применяются преимущественно методы ультразвукового контроля. Так, согласно данным института доктора Ферстера в странах Восточной Европы 32% неразрушающего контроля выполняется ультразвуковыми методами, рисунок Также низка степень автоматизации некоторых методов контроля, ультразвукового, например.



Отсюда сформулируем цель работы – повышение качества сварных соединений трубопроводов за счет повышения производительности операций ультразвукового контроля.

Исходя из сформулированной цели, в работе поставлены следующие основные задачи:

- выявить способ повышения производительности ультразвукового контроля;
- выполнить анализ возможных вариантов повышения производительности способа;
- определить необходимые исследования, требуемые для успешного перехода к автоматизированным методам контроля;
- разработать методику проведения исследований;
- выполнить эксперименты и оценить их результаты;

– передать результаты исследований производителю аппаратуры.

Поставленные задачи определили структуру магистерской диссертации, которая состоит из введения, двух глав, заключения.

Предмет и объект исследования определяется тематикой работы, ее целью и задачами.

Предметом исследования являются методы контроля сварных соединений трубопроводов.

Объектом исследования выступает процесс ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов.

Теоретической, методологической и информационной базой исследования послужили:

- ГОСТы, нормативные документы,;
- труды российских и зарубежных специалистов в области сварки и контроля;
- научные статьи в современной периодической печати;
- данные официальных сайтов промышленных учреждений и информационно-аналитических агентств.

В ходе исследования использовались общенаучные и специальные методы познания, а именно системный анализ как методология постановки и подхода к решению проблемы в целом, приемы логического и сравнительного анализа и синтеза, методы сравнений, абстрактно-логических суждений.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что оно представляет собой одну из попыток автоматизации технологии контроля сварных соединений способом УЗК.

Практическая значимость исследования заключается в том, что ее выводы и рекомендации ориентированы на конкретное применение при контроле сварных соединений трубопроводов.

1 Состояние вопроса

1.1 Сварка плавящимся электродом при соединении стыков трубопроводов

При строительстве трубопроводов для сварки стыков, в ОАО «Ульяновскнефть», согласно строительных норм и руководящих документов, применяют следующие способы сварки:

- автоматическая, под флюсом;
- автоматическая, в защитных газах проволокой со сплошным сечением;
- автоматическая, в защитных газах порошковой проволокой;
- механизированная, в среде углекислого газа проволокой со сплошным сечением с применением источников тока обладающих специальными характеристиками (способ STT);
- механизированная самозащитной порошковой проволокой;
- ручная электродуговая покрытыми электродами (с обмазкой);
- ручная аргодуговая неплавящимся электродом (при выполнении корневого слоя шва для труб малого диаметра и при выполнении всех слоев шва для тонкостенных труб).

Общие требования к технологиям сварки, используемым в процессе строительства и капитального ремонта трубопроводов - они должны быть аттестованы. Технологии сварки должны пройти приемку согласно соответствующих руководящих документов и это должно быть подтверждено Свидетельством НАКСа.

Оборудование для осуществления любого из перечисленного выше способов сварки представляет из себя комплекс, в состав которого входят трубоукладчики, передвижные дизельные электростанции, центраторы, источники питания, оборудование для выполнения операций подогрева труб, оборудование для выполнения операций контроля.

В ОАО «Ульяновскнефть» приходится иметь дело с обширной номенклатурой труб. Преимущественно, это трубы согласно ГОСТ 10706-76,

ГОСТ 10704-91 из сталей типа X65, X70.

Двузначные цифры в указанных индексах обозначения сталей указывают группу прочности по минимальному значению предела текучести в фунтах, отнесенному к квадратному дюйму и разделенному на 1000. Для того, чтобы данное значение перевести в мегапаскали его нужно умножить на 7,03.

Особенность химического состава сталей, относящихся к категориям прочности X65, X70 для изготовления труб с толщиной стенки 13,7– 30 мм - кроме основных элементов C(0,05– 0,13%), Mn(1,28– 1,78%), Si(0,13– 0,39%) стали содержат добавки Nb(0,015– 0,072%), V(0,02– 0,09%) и Mo(0,19– 0,35%).

В последние годы заводами изготовителями был осуществлен переход от сталей типа 17Г2АФ, 14Г2АФ-У к малоперлитным сталям, микролегированным ниобием, и освоено производство стали марки 09Г2ФБ. В указанных сталях (X65, X70) требуемое сочетание прочности, пластичности и вязкости после деформационно-термического упрочнения достигается путем измельчения зерен феррита, образования карбонитридных фаз и необходимого объема продуктов неравновесного распада аустенита при достижении оптимальной V_{0xH} листа.

Контроль при строительстве трубопроводов начинается при поступлении на строительную площадку труб, сварочных материалов и пр.

В организации применяются электроды производства ESAB и Thyssen, типов E9018-B3L, E9018-B3, E9015-B3. Марки электродов: ОК 76.28, ОК 76.26, (ESAB), и Phoenix SH Chromo 2 KS (Thyssen). Применяется сварочная проволока Св-04Х2МА, ОК Autrod 13.22 (ESAB), Union 1 СгМо 910 (Thyssen).

Сборка и сварка стыков труб плавящимся электродом предусматривает последовательность технологических операций перечисленную ниже.

Подготовка свариваемых кромок включает в себя следующую последовательность действий.

- 1) Сначала необходимо измерить периметры соединяемых труб на торцах по внутренней и наружной поверхности. Точность измерения должна составлять не менее 1 миллиметра.

- 2) Затем, при необходимости, при сварке захлестов, следует подготовить прямую вставку (по другому её называют катушкой). Длина катушки должна составлять не менее 1 диаметра трубы.
- 3) Далее производят обрезку конца трубы, при сварке захлестов, с использованием установки для газовой резки орбитального типа.
- 4) После окончания резки необходимо поверхность трубы на ширину 4 см от торца подвергнуть ультразвуковому контролю.
- 5) Если в результате контроля выявлено расслоение металла, то необходимо произвести обрезку трубы на расстоянии не менее 20 см от ее торца. После этого необходимо подвергнуть ультразвуковому контролю кромки трубы.
- 6) Чтобы восстановить геометрические параметры резаных торцов труб необходимо воспользоваться станком для изготовления кромок. Требуемые геометрические характеристики кромок представлены на рисунке 1.1. При формировании кромок металл должен срезаться на глубину не менее миллиметра.
- 7) Также следует удалить усиление заводского продольного шва трубы до величины 0,5...1,0 миллиметра на участке шириной 1,5 сантиметра от торца.
- 8) На последнем этапе осуществляется механическая очистка металла, как кромок, так и прилегающих к ним наружным и внутренним поверхностям трубы на ширину $\geq 1,5$ см до характерного металлического блеска.

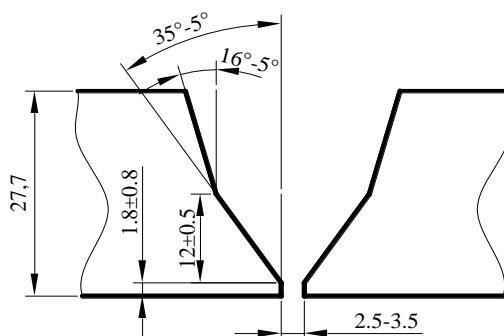


Рисунок 1.1 – Геометрические размеры кромок труб

Сборка стыка и выполнение прихваток включают в себя перечень следующих действий.

- 1) С помощью трубоукладчика необходимо приподнять свободную плеть

трубопровода.

- 2) Присоединить катушку к трубопроводу.
- 3) Затем следует возвести страховочную опору.
- 4) Далее выполняется сборка катушки с трубопроводом на наружном центраторе. Необходимо убедиться, что центратор не оставляет недопустимых дефектов, загрязнений на поверхности свариваемых деталей.
- 5) Затем проверяется, что величина зазора равна от 2,5 до 3,5 миллиметров.
- 6) Необходимо выполнить предварительный нагрев мест, где планируется выполнять прихватки, газопламенными горелками.
- 7) Затем сразу выполняется сварка прихваток. При этом следует использовать те же электроды и режимы сварки, какие запланированы для сварки корневого слоя шва. Количество прихваток должно быть не менее 4. При этом длина прихватки должна составлять от 0,1 до 0,2 метра. Прихватки следует равномерно распределять по периметру стыка. Расстояние от заводского продольного шва труб до прихваток должно составлять не менее 0,1 метра.
- 8) Затем выполняется проверка смещения кромок труб. К величине смещения предъявляются следующие требования: смещение должно быть равно распределено по всему периметру, наружное смещение не должно превышать двух миллиметров, допускаются смещения до трех миллиметров, если их суммарная протяженность составляет $\leq 0,74$ метра

После сборки выполняется прогрев кромок перед сваркой.

- 1) Сначала необходимо с помощью установки индукционного типа нагреть кромки до температуры, лежащей в диапазоне 100...130 °C .
- 2) Контроль процесса нагрева должен быть автоматизирован. Измерение температуры осуществляется с помощью контактного датчика, представляющего собой термопару. Термопары необходимо устанавливать в верхней и нижней точках периметра стыка. Дополнительно термопары устанавливаются на вертикальных участках периметра с отступом 10...16, а также 60...76 миллиметров в обе стороны от кромок.
- 3) После нагрева индукторы нагревающей установки снимаются или

отодвигаются от стыка.

4) В исключительных случаях, связанных с поломкой нагревательной индукционной установки или с перебоями электроэнергии допускается производить нагрев стыков газопламенной установкой.

Непосредственно сама операция сварки выполняется по следующей последовательности.

1) Приступать к сварке корневого слоя допускается при температуре кромок лежащей в диапазоне 100...130 °С. Если температура кромок опустилась ниже 80 °С, то перед сваркой необходимо выполнить предварительный нагрев деталей с использованием газопламенных горелок до регламентированного диапазона температур.

2) При выполнении сварки корневого слоя шва необходимо с помощью механической обработки удалить прихватки.

3) Ослабление и снятие центрирующих приспособлений разрешается только после выполнения не менее 60% длины периметра корневого слоя шва. Перед съемом центриатора необходимо убедиться, что части корневого слоя шва равномерно расположены по всему периметру стыка.

4) Необходимо выполнять механическую обработку конца и начала каждого участка шва с помощью шлифмашины.

5) Запрещено проводить возбуждение сварочной дуги на поверхности основного металла. Дугу можно возбуждать на поверхности кромок.

6) Точки начала и конца сварки каждого слоя необходимо сдвигать относительно точек прохождения продольных заводских швов труб на расстояние не менее 0,1 метра.

7) Точки начала сварки текущего слоя должны быть сдвинуты относительно точек начала сварки предыдущего слоя на расстояние не менее 3 см, а точки начала сварки текущего слоя относительно точек конца сварки предыдущего слоя – на расстояние не менее 7 см. При выполнении многопроходной сварки точки начала и окончания сварки соседних проходов должны быть смещены на 3 см друг относительно друга.

8) Сварка заполняющих слоев, а также облицовочного слоя выполняется в направлении снизу вверх. Начиная со второго заполняющего слоя, сварку следует выполнять в 2 прохода. Сварку облицовочного слоя следует выполнять в 2 или 3 прохода в зависимости от положения кромок. При этом соседние валики должны перекрывать друг друга не менее, чем 1/3. При выполнении сварки облицовочного и заполняющих слоев нужно следить за температурой металла перед сваркой, которая должна лежать в диапазоне от 50 до 250 °С. Если все же температура опустилась ниже 50 градусов, то необходимо подогреть металл газопламенным горелками до температуры 100...130 °С.

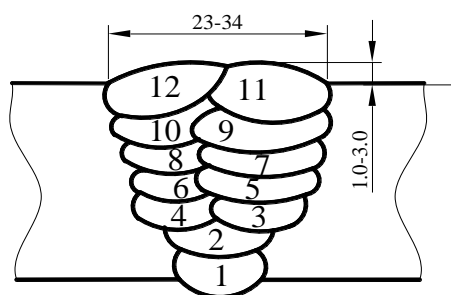


Рисунок 1.2 – Схема сварного шва трубы: количество слоев не менее 7, а количество проходов не менее 2

9) При выполнении облицовочного слоя шва необходимо убедиться, что он перекатывает основной металл трубы на величину 1,5...2,0 миллиметра в обе стороны шва. Высота усиления облицовочного слоя шва должна составлять от 1 до 3 миллиметров. Переход от основного металла к металлу шва должен иметь плавную форму.

10) После выполнения каждого слоя шва необходимо проводить очистку металла от брызг и шлаковых образований.

11) С помощью шлифовальной машинки необходимо зачистить те места облицовочного слоя шва, в которых перепад гребнем и впадиной составляет больше 1 миллиметра, места с высотой усиления больше 3 миллиметров, а также места без плавного перехода от усиления к основному металлу.

12) С помощью шлифовальной машинки на ширину ≥ 1 см в 2 стороны от сварного шва необходимо выполнить зачистку поверхности труб от шлаковых

загрязнений и брызг расплавленного металла.

13) При наличии осадков и при температуре окружающего воздуха ниже 5 градусов тепла место сварки необходимо закрыть водонепроницаемой негорючей теплоизоляцией. Теплоизоляцию можно снимать только после полного остывания сварного шва.

Таблица 1.1 – Параметры сварки

Слой	Марка электрода	Диаметр	Полярность	Ток
Корневой слой шва	LB-62U	3.2 мм	обратная	80-120 А
Заполняющие слои шва	Pipeliner 19P			
Облицовочный слой шва	Pipeliner 19P			

1.2 Контроль при соединении стыков трубопроводов

Контроль при строительстве трубопроводов является комплексным и начинается при поступлении на строительную площадку труб, сварочных материалов и пр.

Поступающие к месту сварки трубопровода трубы подвергаются входному контролю. Проверяют сертификаты (паспорта). Кроме того, сертификаты проверяют на детали трубопроводов, сварочные материалы.

В процессе выполнения сварного шва ведут операционный контроль.

Операционный контроль качества сварного соединения выполняют перед нанесением антикоррозионной защиты.

Задача операционного контроля сварочных работ возложена на производственных мастеров служб сварки и контрольных мастеров служб технического контроля ОАО «Ульяновскнефть».

При выполнении сварного шва проверяется:

- режимы сварки;
- последовательность выполнения слоев шва;
- геометрические параметры выполняемых слоев шва и готового шва;
- выполнение особых требований к сварке, указанных в документации;
- наличие клейм сварщиков возле сварного соединения после завершения сварки.

После выполнения сварного шва выполняются операции контроля визуально-измерительного и неразрушающего физическими методами.

Операции физических методов контроля, выполняются, как было указано ранее, преимущественно ультразвуковыми методами.

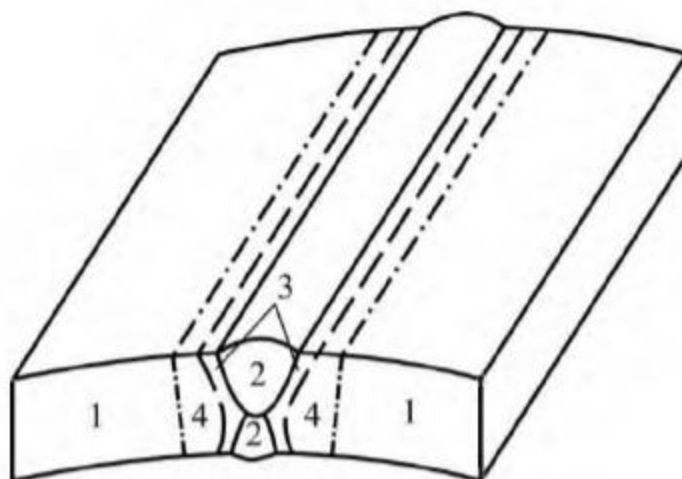
Методы ультразвукового неразрушающего контроля сварных соединений трубопроводов основаны на изменении параметров возбуждаемых в металле контролируемой трубы ультразвуковых колебаний. В ОАО «Ульяновскнефть» используют разные виды акустических волн, широкий спектр частот ультразвуковых колебаний. За счет разнообразия способов возбуждения волн и фиксации параметров принимаемых ультразвуковых волн, разнообразия пьезоизлучателей обеспечивается охват технологией ультразвукового контроля всей номенклатуры сварных соединений труб.

При ультразвуковом контроле сварных соединений трубопроводов применяют помимо традиционных методов, к которым можно отнести теневой, эхометод, эхо-теневой, более современные методы, дифракционно-временной метод, тандем-метод, дельта-метод, и пр.

Фундаментальные исследования в области дефектоскопии сварных соединений вообще, и электросварных трубопроводов, в частности, выполнены учеными И.Н. Ермоловым, А.К. Гурвичем, Н.П. Алёшиным, В.Т. Бобровым, В.Г. Щербинским, А.Х. Вовилкиным, А.А. Самокрутовым, В.А. Троицким, Н.В. и др. Их работы по общим теоретическим основам ультразвуковой дефектоскопии и контролю данным методов сварных соединений, позволили разработать передовые методы контроля и их автоматизировать.

Исследования позволили разработать способы и оборудование для ультразвукового контроля, сварных соединений с высоким уровнем шумов.

Зона сварного шва, условно, при контроле может быть разбита на следующие участки (рис.1.3): сварной шов (наплавленный металл); зона термического влияния; примыкающий к зоне термического влияния основной металл.



1 основной металл; 2 наплавленный металл; 3 зона термического влияния; 4 примыкающий металл

Рисунок 1.3 – Зоны сварного шва

С учетом изложенного ультразвуковая дефектоскопия сварного шва должна обеспечивать обнаружение дефектов во всех перечисленных зонах - наплавленном металле, зоне термического влияния в примыкающем участке, причем, чувствительность в указанных зонах, по возможности. Должна быть обеспечена равная. Получаемая в процессе ультразвукового контроля информация должна содержать сведения о месте расположения дефекта, его размере и о виде дефекта.

Следует помнить, что достоверность результатов контроля во многом обеспечивается надежным акустическим контактом между пьезоэлектрическим преобразователем и контролируемой трубой. Значительно усложняют выявление дефектов металла сварного соединения валики усиления. Хотя их геометрическая форма регламентирована нормированными документами [116, 117, 118, 126], но они являются причиной

возникновения эхосигналов, которые маскируют эхосигналы от дефектов сварного соединения [119 - 121].

Используемые на предприятии установки и технологии ультразвукового контроля обеспечивают высокую достоверность результатов контроля за счет высокой квалификации производственного персонала, занятого на операциях контроля, и позволяют выявлять практически все разновидности дефектов, рисунок 1.4. Следует отметить высокую трудоемкость ультразвукового контроля. Необходимые манипуляции пьезоэлектрическим преобразователем оператор совершает вручную по всей протяженности сварного соединения. Распределение видов выявляемых дефектов в сварных швах труб представлены на рисунке

При этом следует помнить, что ультразвуковой контроль сварных соединений характеризуется специфическими особенностями. Контроль наплавленного металла и околошовной зоны требует использования наклонных ультразвуковых преобразователей. Контроль выполняется, зачастую, в стесненных условиях. В некоторых случаях дефекты могут быть выявлены многократно отраженным лучом.

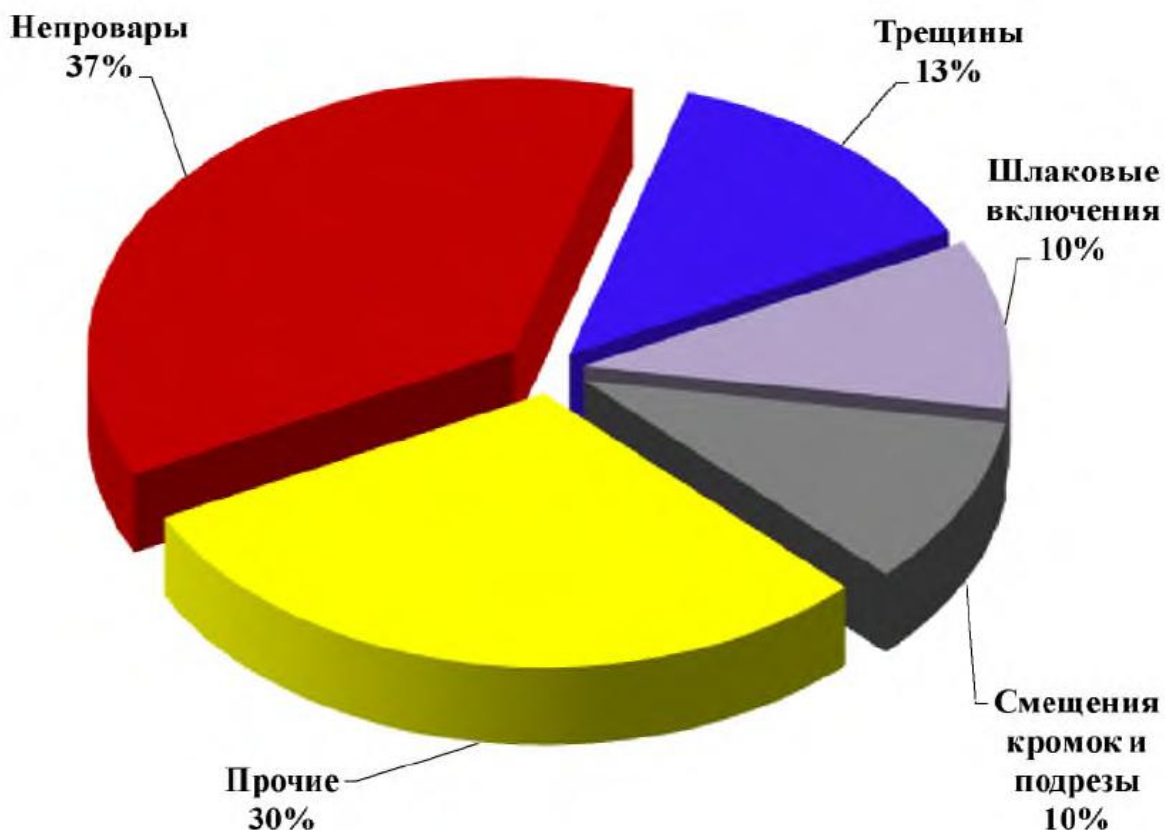


Рисунок 1.4 – Распределение видов дефектов в сварных швах труб

Традиционно методы ультразвукового контроля измеряют такие параметры дефектов, таких как амплитуда сигнала, координаты расположения дефекта, размеры дефекта. В течение нескольких десятилетий дефектоскопы совершенствовались в рамках улучшения определения перечисленных параметров. Габариты и вес дефектоскопов уменьшались, появлялись дополнительные сервисные функции: запоминание настроек; запоминание результатов контроля; регулировка чувствительности в процессе измерений. Внедрялись новые схемы прозвучивания, например, применение хордовых преобразователей. Тем не менее, решение о соответствии сварного соединения требованиям принимается по результатам анализа амплитуды сигнала, координат расположения дефекта и размеров дефекта выполняемого оператором.

Дальнейший шаг – создание приборов с развертками В (В-scan) и С (С-scan). В развертках В принятые эхосигналы формируют изображение на плоскости, в развертке С изображение формируется объемное.

Изображение дефектов лучше воспринимается и анализируется человеком, чем эхо сигнал.

Для дальнейшего улучшения изображения применили многоэлементные ультразвуковые преобразователи совместно с методами синтезированной апертуры. В частности, данный метод нашел применение в медицинских приборах.

Исследование сварных соединений указанными методами показано на рисунках 1.5, 1.6, 1.7, 1.8. Применяется просвечивание двумя акустическими блоками. Толщина деталей 12мм. Как видно из рисунка правая деталь относительно левой смещена вниз на 3мм и повернута на 4°. Область сварного шва обведена пунктиром.

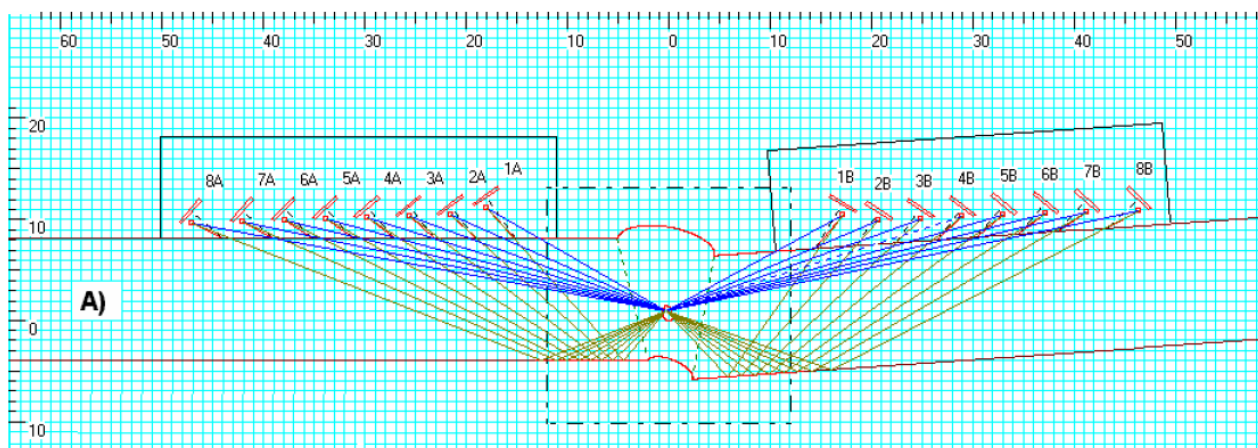


Рисунок 1.5 – Выявление дефекта в середине наплавленного металла прямыми и однажды отраженными лучами преобразователей

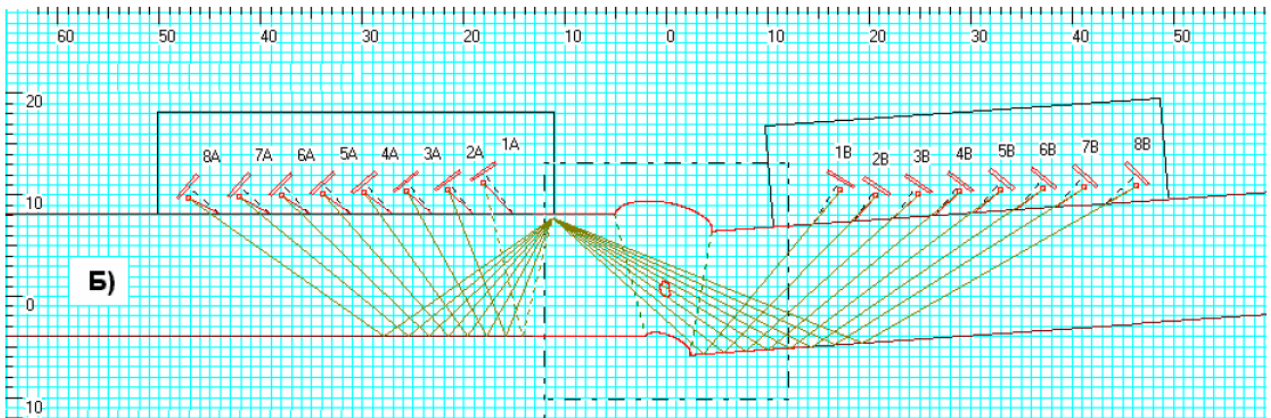


Рисунок 1.6 – Прозвучивание верхней границы детали
однажды отраженными лучами.

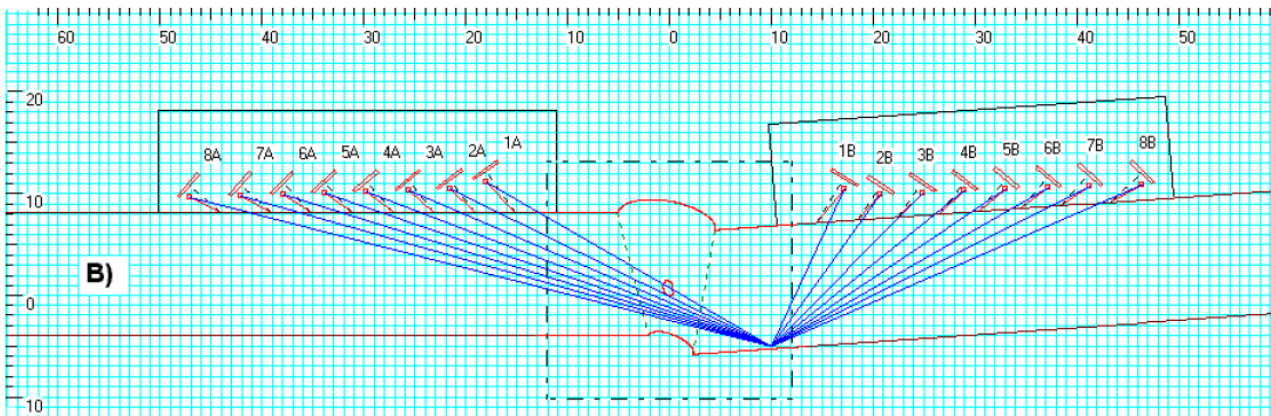


Рисунок 1.7 – Прозвучивание донной поверхности детали

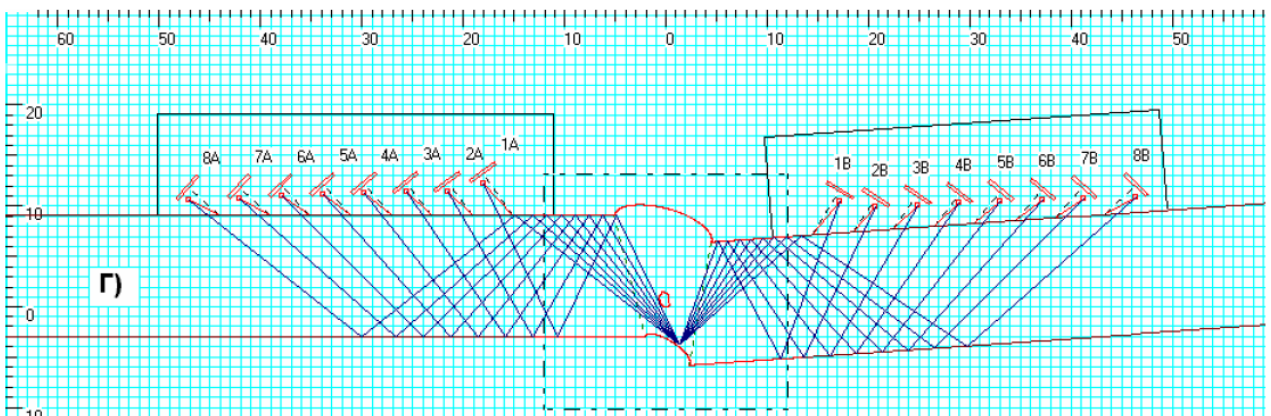


Рисунок 1.8 – Прозвучивание корня сварного соединения
дважды отраженными лучами

Как следует из приведенных рисунков обеспечивается прозвучивание всех зон сварного соединения и околошовной зоны. Однако получение

изображений с применением подобных методов требует разработки особых алгоритмов, в которых должны быть учтены все варианты образования эхосигналов.

Автор работы [91] предложил разделить все множество дефектов на плоскостные, округлые и округло-плоскостные. Однако для того, чтобы соотнести выявленный дефект к какому то из трех типов нужно контролировать сварное соединение по К-образной или Х-образной схеме четырьмя преобразователями

Согласно [7] непровары, трещины, несплавления относят к плоскостным дефектам. Раковины, поры, неметаллические и шлаковые включения относят к объемным. Наиболее опасны непровары и трещины. Причем, высокая точность обеспечивается при строгой ориентации оси ультразвукового пучка в плоскости, которая перпендикулярна оси шва, отклонение $+ 2^\circ$ снижает амплитуду эхосигнала до 8 дБ, Поэтому применяют шаблоны для заданной ориентации пьезоэлектрических преобразователей.

При работе с К-образной схемой расположения преобразователей пара призматических пьезоэлектрических преобразователей ставится перпендикулярно оси сварного шва, другая пара ставится наклонно с двух сторон шва и обеспечивает выявление поперечных трещин. В Х-образной схеме обе пары пьезоэлектрических преобразователей ставят наклонно к оси сварного шва. Указанные схемы контроля описаны в [9].

Если на внутренней поверхности шва имеется грат, или усиление, то амплитуда эхосигналов от грата близка к амплитудам эхосигналов от дефектов, что создает проблемы их разделения по временному признаку.

При зачистке грата (усиления) на наружной поверхности шва появляется возможность выявления плоскостных дефектов сварного соединения дельта-методом [7]. Принцип дельта-метода заключается в том, что сдвиговая волна, попадая на поверхность плоского дефекта, в отраженном импульсе кроме сдвиговых волн продуцирует и продольные волны. Автор работы [79] предложил зеркальный дельта-метод применять для обнаружения трещин в

сварном соединении. Автор работы [80] трансформацию в продольные сдвиговых волн предложил использовать для обнаружения плоскостных дефектов сварного соединения.

1.3 Основные дефекты трубопроводов и причины их возникновения

Анализ причин и механизмов отказов сварных соединений трубопроводов показывает, что, как правило, разрушение начинается с поверхностных дефектов корневого слоя. Во всех случаях для обеспечения надежной и безопасной работы трубопровода необходимо предупредить развитие дефекта до сквозной трещины. Наиболее опасны плоскостные дефекты — трещины, непровары, подрезы. Одним из наиболее распространенных дефектов при сварке стыков труб является непровар корня шва. Часто указанный дефект сочетается со смещением кромок. Полностью исключить появление в монтажных стыках непровара и смещения кромок технологически сложно [11].

На рис. 1.6 показаны аномалии стыков, обнаруженные по результатам ВТД в Центральном регионе и Западной Сибири. Центральный регион взят для сравнения в качестве региона с лучшими природно-климатическими условиями эксплуатации магистрального газопровода. Особо следует отметить, что вид аномалии кольцевого сварного шва устанавливается по результатам внутритрубной диагностики и требует более точного определения с помощью средств наружной диагностики. Ограниченную возможность магнитного метода, используемого при внутритрубной диагностике, с достаточной степенью достоверности определения вида аномалии в сварном соединении показывает первая колонка диаграммы на рис. 1.9 [12].

Серьезную опасность представляют внезапные коррозионно-механические разрушения сварных соединений и конструкций с образованием трещин магистрального типа, вызванных совместным воздействием среды и напряжений при статическом (коррозионное растрескивание), повторно-статическом и циклическом нагружениях.

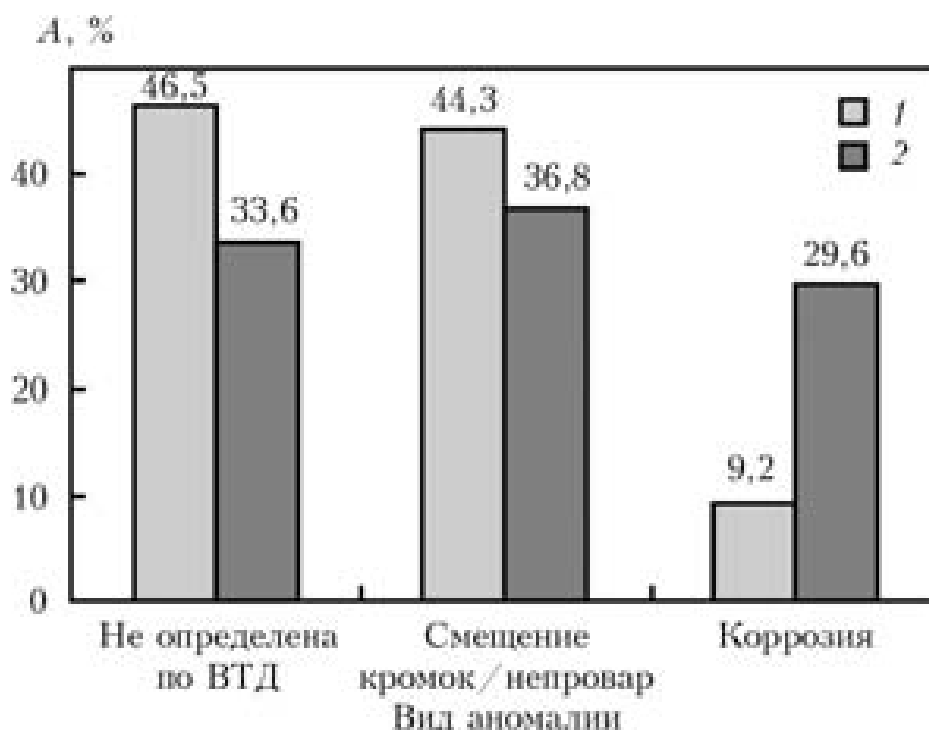


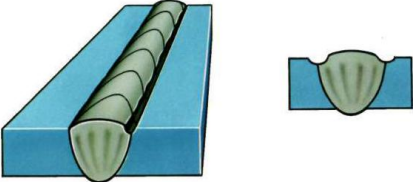
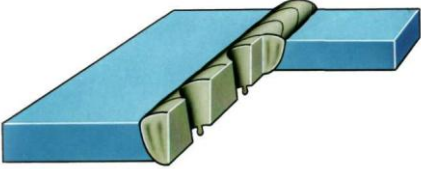

Рисунок 1.9 – Виды аномалий стыков А, выявленные в третью внутритрубную диагностику в Центральном регионе (1) и в Западной Сибири (2)

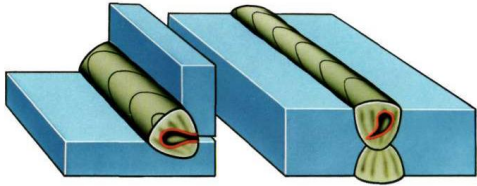
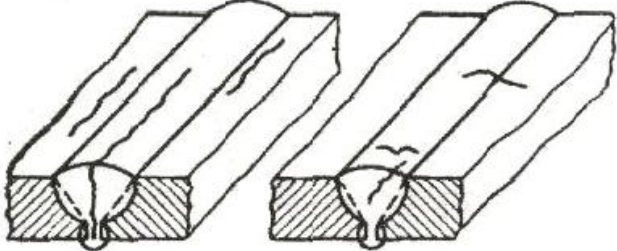
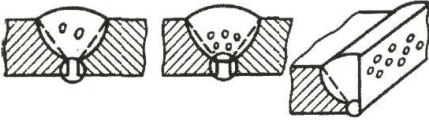
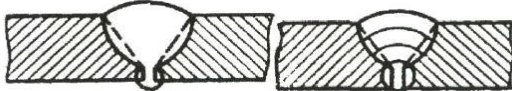
В Центральном регионе и Западной Сибири около половины всех аномальных стыков представляют серьезную опасность для эксплуатации газопроводов (непровар либо смещение кромок). Наличие такого большого количества смещений кромок и непроваров в Центральном регионе в первую очередь связано с качеством строительства, а не природно-климатическими условиями, что указывает на низкий уровень коррозии на стыках (9,3 % в Центральном регионе и 29,6 % в Западной Сибири).

В Западной Сибири зафиксировано большое количество аномальных кольцевых сварных швов, что сопряжено со сложными природно-климатическими условиями, оказывающими существенное влияние на качество строительства и условия эксплуатации газопроводов [12].

Таблица 1.2 – Дефекты дуговой сварки плавящимся электродом

Дефекты	Эскиз, причины образования дефектов
1	2
Непровары	

	<ol style="list-style-type: none"> 1) неправильный выбор формы разделки; 2) недостаточная погонная энергия; 3) нарушение подготовки поверхностей; 4) чрезмерная величина притупления; 5) мала величина зазоров; 6) смещение в процессе сварки электрода; 7) некачественное проведение зачистки шва после выполнения прохода
Подрезы	 <ol style="list-style-type: none"> 1) чрезмерная величина сварочного тока; 2) чрезмерная величина скорости сварки; 3) чрезмерная длинная дуга; 4) недостаточный наклон электрода (неправильное ведение)
Прожоги	 <ol style="list-style-type: none"> 1) повышенное значение погонной энергии; 2) чрезмерный зазор; 3) недостаточная величина притупления кромок; 4) чрезмерное смещение кромок при сборке; 5) коробление деталей при сварке
Наплывы	 <ol style="list-style-type: none"> 1) чрезмерная величина сварочного тока; 2) чрезмерная скорость сварки; 3) чрезмерная длина дуги (повышенное напряжение); 4) смещение электрода при сварке; 5) недостаточный наклон электрода (неправильное ведение)

1	2
Свищ	 <ol style="list-style-type: none"> 1) низкое качество основного металла; 2) нарушение газовой защиты.
Трещины	 <ol style="list-style-type: none"> 1) превышение времени между сваркой и термообработкой; 2) чрезмерно большая скорость охлаждения; 3) нарушение газовой защиты; 4) низкое качество основного металла.
Поры	 <ol style="list-style-type: none"> 1) применение отсыревших электродов; 2) нарушение подготовки свариваемых кромок; 3) чрезмерный Ø электродов; 4) слишком длинная дуга; 5) слишком высокая скорость сварки 6) нарушение защитной газовой среды; 7) низкое качество металла труб.
Включения	 <ol style="list-style-type: none"> 1) поверхности деталей подготовлены с нарушениям; 2) низкое качество металла труб; 3) не соблюдение технологии сварки; 4) нарушение газовой защиты.

На рисунке 1.10 представлена диаграмма, показывающая распределение различных видов дефектов, возникающих в очагах отказов. На основе анализа этих данных была определена вероятность отсутствия дефектов с учетом

применения различных методов контроля. Полученные данные показаны на диаграмме (рис. 1.12).

При разработке нормативной документации проектировщики пытаются бороться со снижением количества отказов в трубопроводных системах путем увеличения объемов контроля в 2...3 раза. Такой подход при решении данной проблемы нельзя назвать оптимальным.

Анализ статистических данных показывает, что снижение количества отказов до такого же уровня возможно и другим способом без увеличения объема контроля – путем применения дифференциального подхода при выборе методов контроля.

Такой подход обладает следующими преимуществами, во-первых, способствует повышению качества монтажно-строительных работ трубопроводных систем, во-вторых, позволяет снизить трудоемкость и затраты на контроль.

Анализ значимости факторов на дефектность трубопроводов произведём при помощи диаграммы Парето.

Так, **диаграмма Парето** представляет собой столбчатую диаграмму, на которой значения факторов показаны в виде столбиков, причем факторы упорядочены в порядке убывания значений. На такой диаграмме под факторами могут рассматриваться, например, типы дефектов, локализация дефектов и т.п. На оси ординат данной диаграммы для каждого фактора откладываются такие значения, например, как частота возникновения дефектов, их процентное соотношение и т.п.

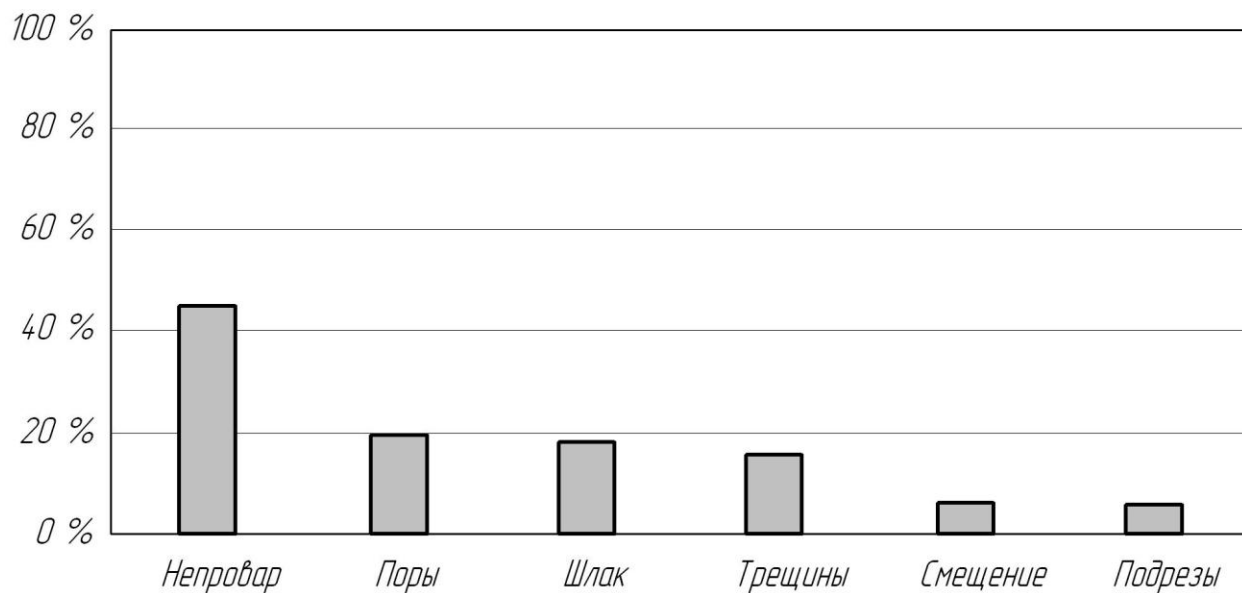


Рисунок 1.10 – Распределение дефектов в очагах отказов

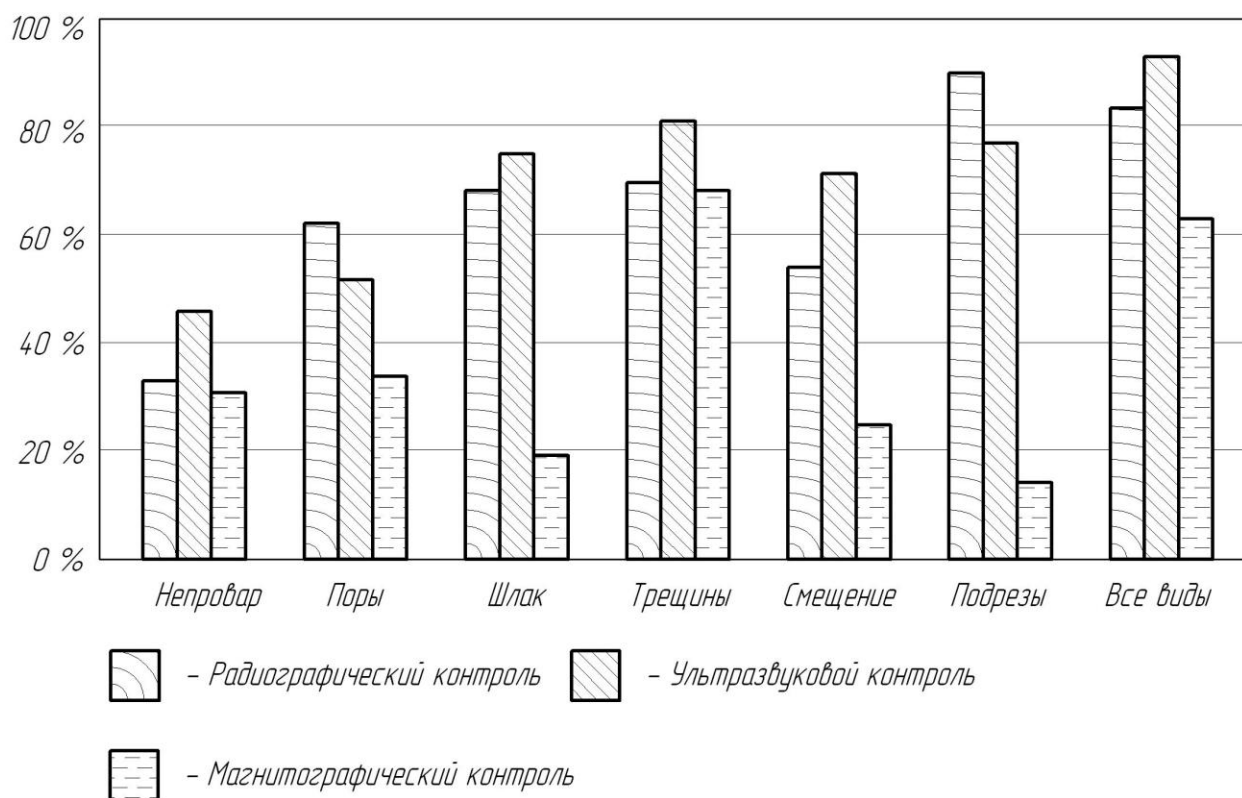


Рисунок 1.12 – Вероятность отсутствия дефектов с учетом применения различных методов контроля

Диаграмма Парето - графическая интерпретация одноименного правила. В теории менеджмента правило Парето указывает на то, что большинство несоответствий и отказов возникает из-за малого числа факторов.

Неофициальным названием правила Парето является “80 и 20”. Это означает, что если рассматривать статистические данные по дефектам трубопроводных систем, то выявиться следующая закономерность – приблизительно 80% дефектов вызывают 20% причин [5...7]. В Японии диаграмма Парето включена в состав 7 методов контроля качества (союз ученых и инженеров, 1979 г.).

Практическая значимость правила Парето заключается в возможности определения главных факторов, влияющих на появление отказов. Что позволяет расставить приоритет действиям необходимым для предотвращения отказов.

Также, диаграмма Парето позволяет разделить важные факторы от малосущественных.

Благодаря использованию правила Парето становится возможным фокусирование всех человеческих и аппаратных ресурсов на устранение главных факторов рассматриваемой проблемы.

Другим достоинством правила Парето является интуитивность идеи, относительная простота математического аппарата и лёгкость объяснения персоналу.

Общий вид диаграммы Парето представлен на рисунке 1.13.

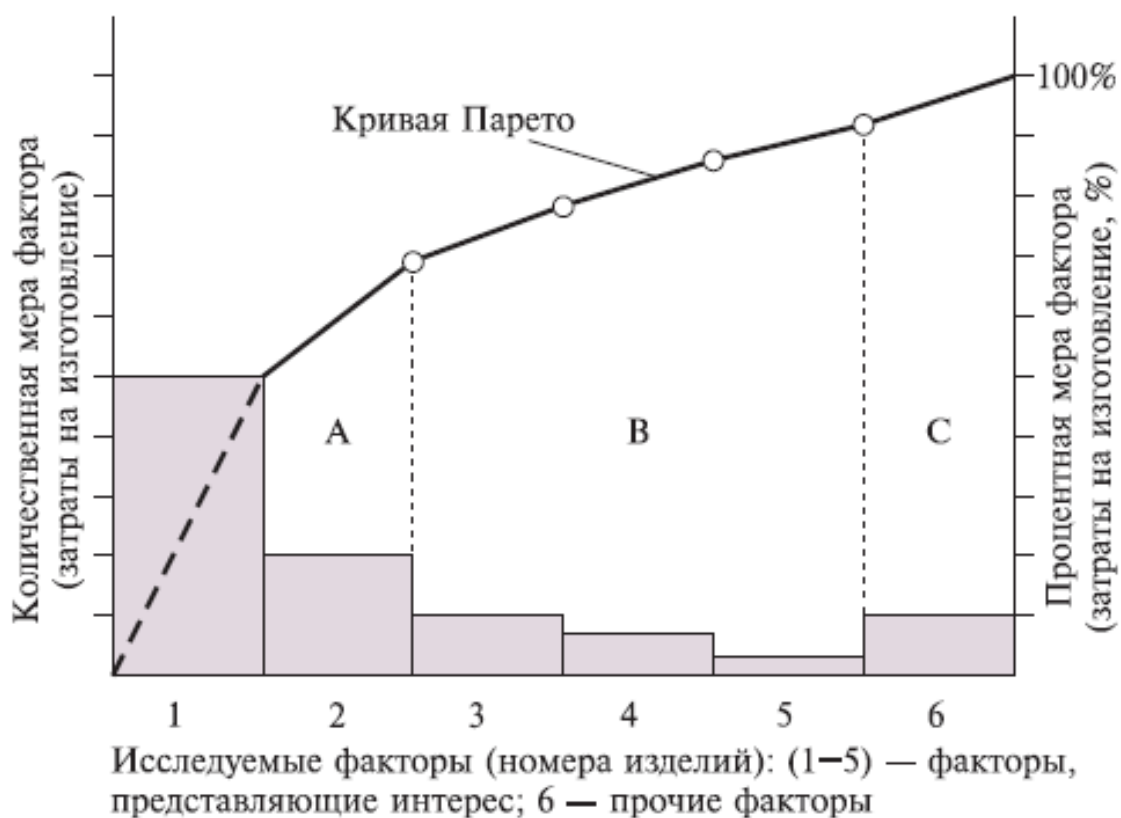


Рисунок 1.13 – Общий вид диаграммы Парето

Рассмотрим правила построения такой диаграммы, относительно нашего случая:

- 1) Сначала необходимо определить, какая проблема будет объектом исследования, какие статистические данные необходимо собрать и как их распределить по классам факторов.
- 2) Затем требуется разработать форму регистрации исходных данных.
- 3) Собрать данные с использованием разработанной формы и подсчитать количественные показатели по каждому из факторов.
- 4) Да построения диаграммы необходимо подготовить для заполнения таблицу, содержащую в себе следующие графы по каждому фактору: процент к общему итогу, накопленная сумма числа проявлений фактора и накопленный процент.
- 5) Затем необходимо заполнить полученную таблицу рассчитанными значениями, располагая фактора в порядке уменьшения значимости.
- 6) Теперь требуется подготовить оси будущей диаграммы, которая будет состоять из 1 горизонтальной оси и 2 вертикальных осей. На первую

вертикальную ось необходимо нанести деления от нуля до общей суммы количественного показателя выявленных факторов. На вторую вертикальную ось наносится шкала со значениями от 0% до 100%. Горизонтальная ось делится в зависимости от факторов, принимающих участие в исследовании.

7) Затем строится столбчатая диаграмма, в которой высота столбцов должна соответствовать количественному показателю проявления данного фактора. Важным является расположения столбцов в порядке убывания количественного показателя. К последнему столбцу следует отнести все факторы, количественное проявление которых ниже установленного порогового значения. Такой столбец можно назвать как “другие” или “прочие”

8) Затем следует отобразить накопительную кривую Парето путем последовательного соединения точек накопленных сумм факторов. Такие точки следует ставить над соответствующим столбцом фактора, у правого края столбца.

9) Необходимо нанести на диаграмму обозначения.

10) Теперь можно приступать к анализу полученной диаграммы.

По описанному выше алгоритму были построены две диаграммы Паретто: для первопричин образования дефектов возникших при строительстве (диаграмма представлена на рисунке 2.4) и для видов остаточных дефектов возникших при сварочно-монтажных работах (диаграмма представлена на рисунке 2.5). Данные диаграммы использовались для анализа проблем, влияющих на качество строительство трубопроводных систем.

Благодаря диаграммам были выделены приоритетные направления направленные на модернизацию процессов контроля качества строительства трубопроводных систем.

Также определено, что наибольшее влияние на статистику отказов вносят дефекты вида скоплений пор, а также непровары.

Таким образом, можно сделать вывод, что поры и непровары являются наиболее опасными дефектами, которые чаще всего возникают и хуже всего определяются современными методами контроля.

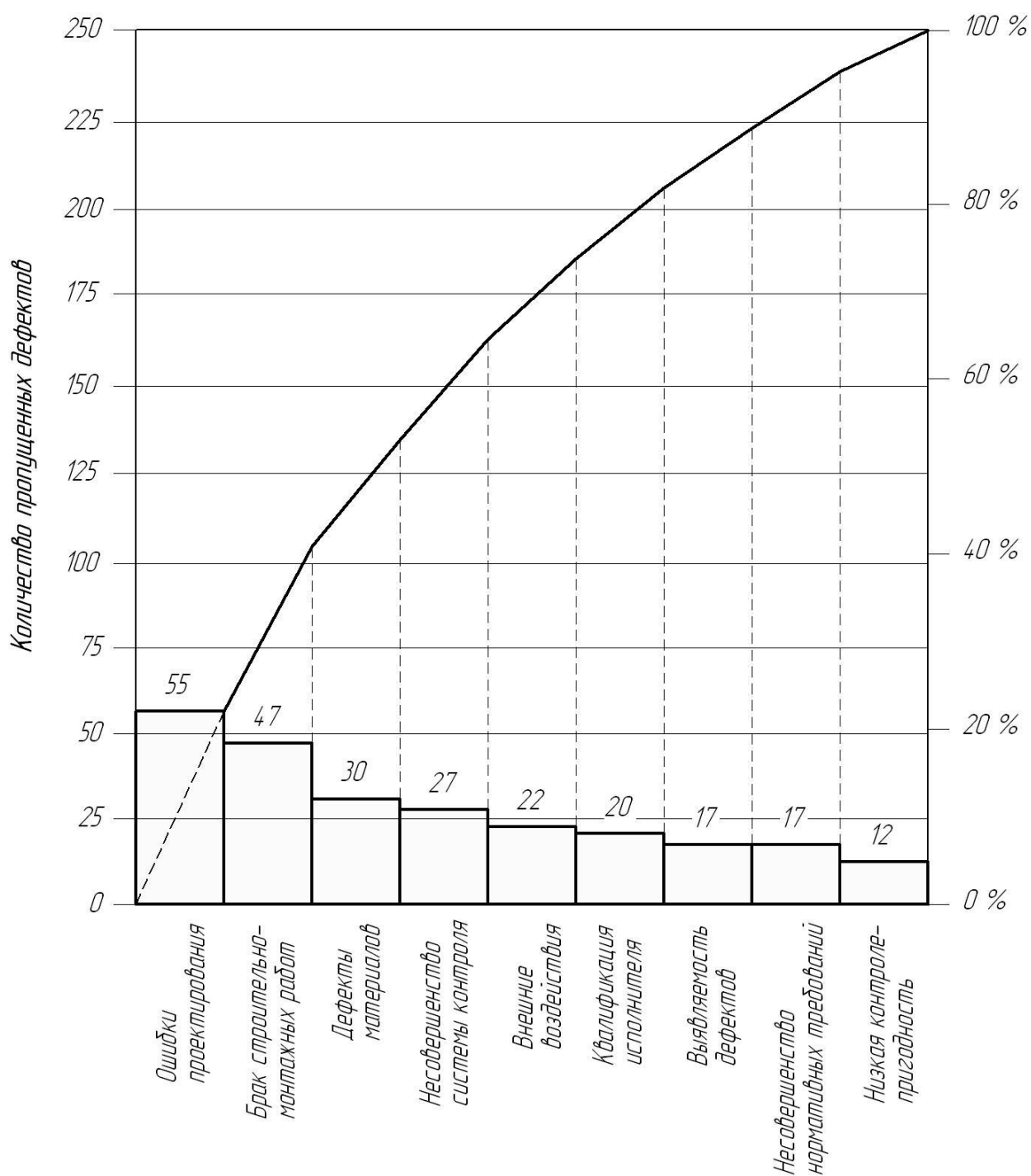


Рисунок 1.14 – Диаграмма Парето, где в качестве факторов выступают первопричины образования дефектов возникших при строительстве

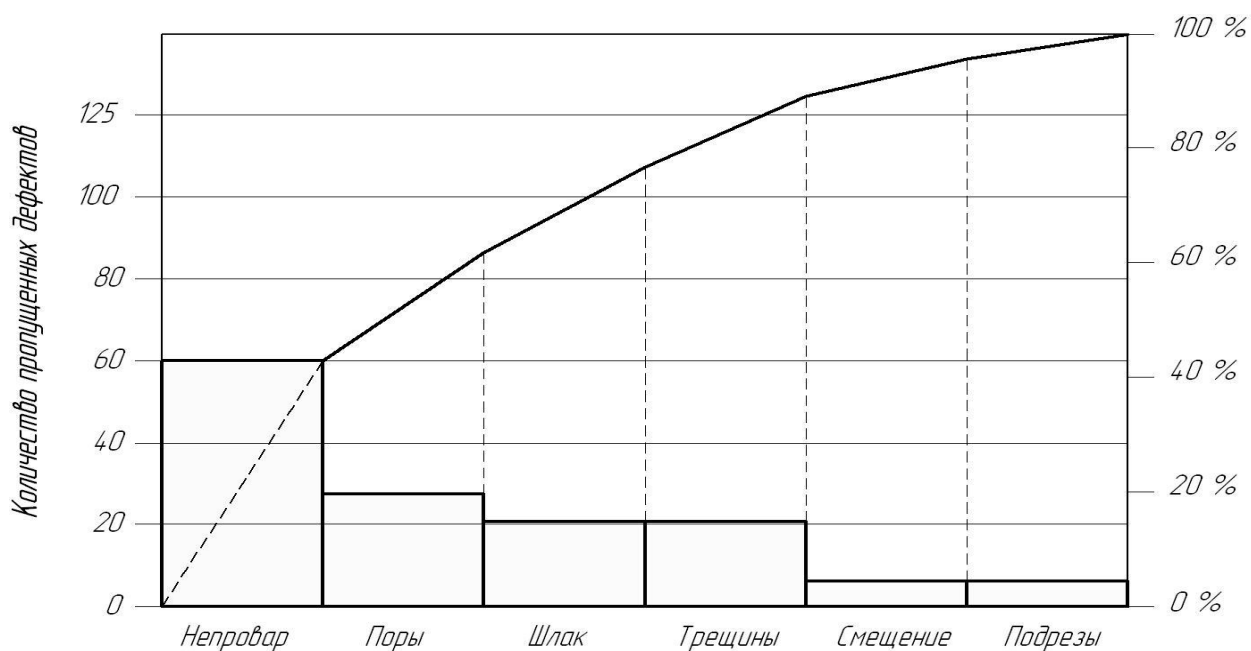


Рисунок 1.15 – Диаграмма Парето по видам остаточных дефектов в трубопроводе образовавшихся в процессе сварочно-монтажных работ

Для того, чтобы графически показать какие факторы оказывают влияние на результат какого-либо процесса обычно используется диаграмма Исикавы.

Диаграмма Исикавы, известная также как причинно-следственная диаграмма, используется при необходимости исследования возможных причин возникновения изучаемой проблемы.

Диаграмма Исикавы необходима для представления соотношений между следствием, результатом и причинами, оказывающими влияние на них. Изучаемая проблема показывается на диаграмме справа, а ее причины описываются слева.

Рассмотрим алгоритм построения диаграммы Исикавы:

На первом этапе выполняется описание рассматриваемой проблемы. В ходе описания необходимо определить ее особенности, место возникновения, время проявления. В нашем случае проблемой является низкое качество сварки.

На втором этапе описываются причины, участвующие в причинно-следственных связях диаграммы Исикавы:

- Группа причин “персонал”:

1. У персонала недостаточная мотивация. Сюда можно отнести несправедливое распределение зарплаты, а также отсутствие стимулирования поддержания качества продукции.

2. Персонал имеет низкую квалификацию. Сюда относится нежелание работников развивать свои навыки, отсутствие средств у организации для проведения курсов повышения квалификации, слабая подготовка в университетах и техникумах, снижение интеллекта вследствие наркомании.

3. Работа персонала в тяжёлых условиях труда. Сюда относится завышение производственных норм в связи с сокращения штатов, необходимость сверхурочной работы в связи с низкой заработной платой, а также экономия на гигиене труда и средствах защиты.

4. Персонал подвержен социальному угнетению. Сюда относится плохое содержание детей работников в детских садах и школах, страх ожидания старости и выхода на пенсию, негативные новости из СМИ, повышение цен на ЖКХ и продукты питания, плохая экология, плохое медицинское обслуживание, непогашенные кредитные обязательства, разлады в семье.

- Группа причин “оборудование”:

1. Оборудование чрезмерно изношено. Сюда относятся низкое качество обслуживания оборудования, несвоевременное обслуживание оборудования, низкое качество запчастей, отсутствие у предприятия средств на своевременную замену.

2. Оборудование эксплуатируется неправильно. Сюда относится отсутствие использования всех возможностей оборудования, а также высокий уровень брака изготавливаемой продукции.

3. Оборудование низкого качества. Сюда относится поставка оборудования ненадлежащего качества вследствие коррупции, а также недобросовестность поставщиков.

4. Оборудование морально устарело. Сюда относится отсутствие средств у предприятия замену или модернизацию используемого оборудования,

нежелание устанавливать системы автоматизированного управления и диагностики качества на оборудование.

- Группа причин “материалы”:

1. Материалы имеют низкое качество. Сюда относится низкая коррозионная стойкость, низкие физико-механические характеристики, вызванные нарушениями в технологии производства, а также закупка дешевого несертифицированного материала.
2. Повышенный расход материалов. Сюда относится низкая квалификация персонала, износ оборудования, а также большая доля брака.
3. Срывы поставок материалов. Сюда относится кризис неплатежей, а также недобросовестность поставщиков.

- Группа причин “технологии”:

1. Не оптимизирована последовательность технологических операций.
2. Не обеспечена требуемая точность измерений.

На третьем этапе строится причинно-следственная диаграмма. Диаграмма для нашего случая представлена на рисунке 2.5.

На четвертом этапе проводится анализ диаграммы. Для этого факторы сортируются по значимости, а также выявляются причины, поддающиеся корректировке.

На пятом этапе производится толкование всех взаимосвязей.

На шестом этапе формируются выводы и план дальнейших действий.

Одной из главных задач производства любой продукции является обеспечения соответствия ее характеристик заданным значениям. Для проверки продукции на производстве организуется выполнение технического контроля. Целью технического контроля является поддержание качества выпускаемой продукции на требуемом уровне.

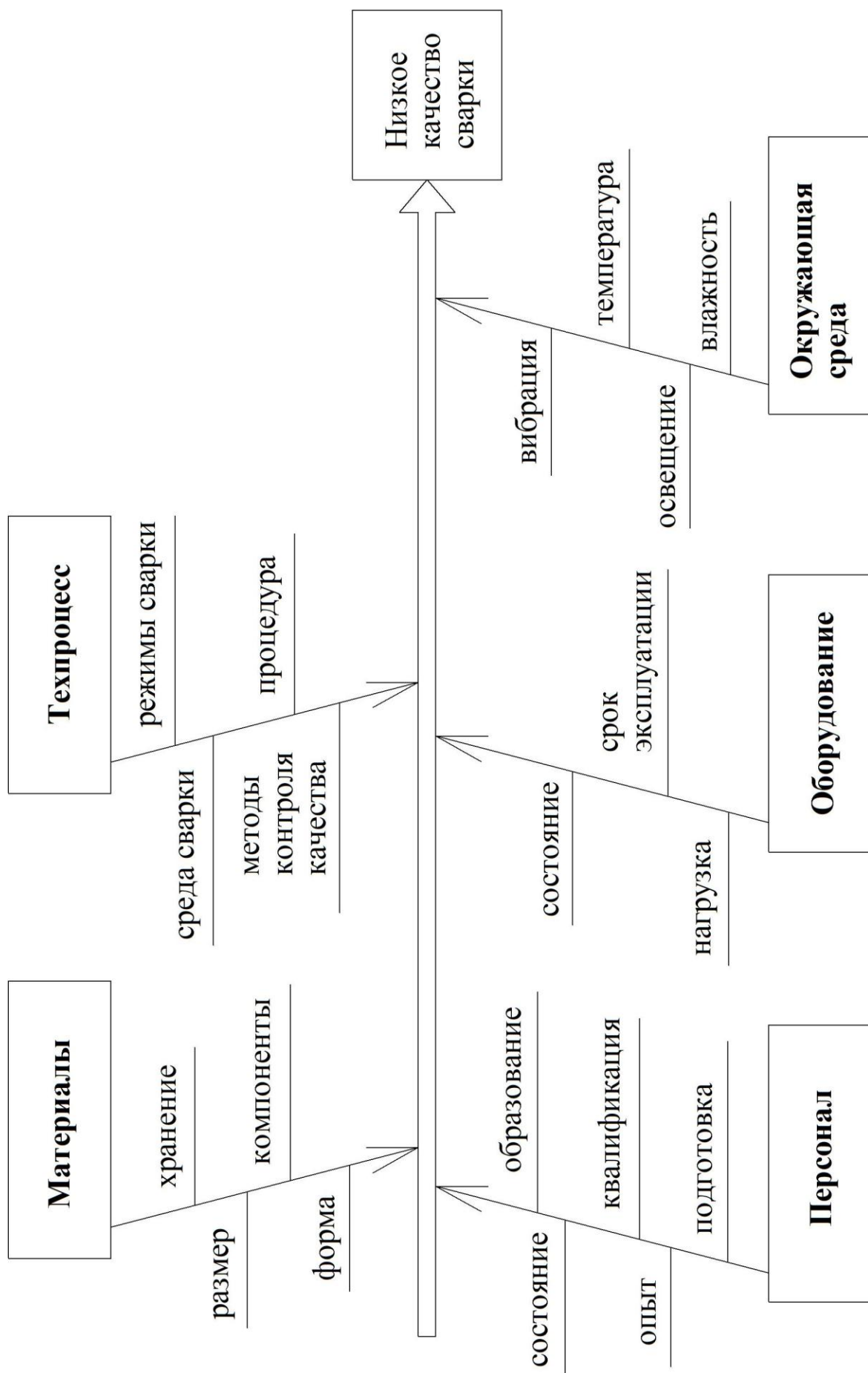


Рисунок 1.15 – Диаграмма причинно-следственных связей

Процессный подход к управлению качеством

Описание критериев

Первым критерием является % выполнения сменных заданий в течение месяца. Данный показатель, выраженный в процентах, рассчитывается как отношение количества выполненных сменных заданий к общему количеству заданий:

$$K_1 = \frac{n}{N} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где K_1 – критерий выполнения сменных заданий, %;

n – количество выполненных сменных заданий, шт.;

N – общее количество сменных заданий, шт.

Периодичность проведения расчетов ежемесячная, при этом ответственным является начальник участка сварки. Информация, необходимая для расчета критерия должна браться из графика изготовления. При этом источником информации являются отметки в сменном графике.

Вторым критерием является показатель уровня дефектности готовой продукции в производстве, который можно рассчитать как отношение суммы несоответствующих узлов, выявленных на производстве к общему количеству готовых сварных узлов. Для удобства, данное отношение умножается на 10^6 :

$$K_2 = \frac{\sum n_{\delta}}{\sum N_{\delta}} \cdot 10^6, \quad (2.2)$$

где K_2 – уровень дефектности;

$\sum n_{\delta}$ – количество несоответствующих узлов;

$\sum N_{\delta}$ – общее количество готовых сварных узлов.

Периодичность проведения расчетов ежемесячная, при этом ответственным является начальник Бюро технического контроля. Источником информации о количестве несоответствий узлов является периодический контроль с документальной регистрацией результатов. Так по итогу отчетного

периода должна быть подготовлена справка об уровне дефектности готовой продукции.

Источником информации о количестве изготовленной продукции являются отметки в графике изготовления. Ответственным лицом в данном случае является начальник планового управления.

Инструменты мониторинга

Первый критерий, который мы выделили выше, является % выполненных сменных заданий за один месяц. Для мониторинга критерия можно использовать отметки количества готовых сварных стыков выставляемых каждую смену в графике изготовления. Пример такого графика представлен в приложении №1. В конце месяца рассчитывается количество отклонений и сравнение полученных данных с установленными нормативами. Для удобной визуальной оценки необходимо строить график, пример и форма которого представлены в приложении №2. Для фиксации простоев необходимо воспользоваться картой, представленной в приложении №3. При этом в карте обязательно указывается виновник простоя.

Вторым критерием, который мы выделили выше, является уровень дефектности готовой продукции в производстве. Для оценки данного показателя требуется периодический сбор данных об уровне дефектности продукции и сравнение их с установленными нормативами. В конце месяца удобной визуальной оценки строится график уровня дефектности.

Оценка результативности

Процесс производства считается результативным при выполнении приведенных ниже условий.

Для первого критерия, которым является % выполнения сменных заданий за месяц, требуется, чтобы значение было больше 95 процентов.

Для второго критерия, которым является уровень дефектности готовой продукции за месяц, требуется чтобы значение было меньше 200.

Управляющие воздействия на процесс

Для первого критерия, которым является % выполнения сменных заданий за месяц, предусмотрены следующие управляющие воздействия:

1. Если в результате анализа удалось установить, что значение данного критерия по итогам месяца меньше требуемого значения, то необходимо выяснить причины низкого значения показателя, разработать корректирующие мероприятия и, при необходимости, передать результаты анализа уполномоченному от высшего руководства лицу по качеству для планирования корректировок других процессов.

2. Если в результате анализа удалось установить, что значение данного критерия имеет отрицательный тренд, то необходимо разработать упреждающие мероприятия по остановке снижения значения критерия.

Для второго критерия, которым является уровень дефектности готовой продукции за месяц, предусмотрены следующие управляющие воздействия:

1. Если в результате анализа удалось установить, что значение данного критерия по итогам месяца выше требуемого значения, то необходимо выяснить причины высокого значения показателя, разработать корректирующие мероприятия и удостовериться в их результативности.

2. Если в результате анализа удалось установить, что значение данного критерия имеет положительный тренд то необходимо разработать упреждающие мероприятия по остановке роста значения критерия.

Улучшение процесса возможно за счет проведения мероприятий, основанных на следующих методах:

1. Работа в группе;
2. Проведение сравнительного анализа;
3. Изучение статистических данных;
4. Исследования опыта «лучший в классе».

1.4 Основы создания автоматизированных установок ультразвукового контроля

Раньше оценка качества кольцевых швов проводилась преимущественно с использованием радиографического метода контроля. Ультразвуковой контроль (ручной) применялся только для подтверждения наличия дефекта. Однако за границей в это же время применялся автоматизированный тип ультразвукового контроля. Некоторые эксперты оценивают отставание России в области развития методов неразрушающего контроля на 15 лет от мирового уровня.

Если темпы строительства трубопроводных систем не критичны, то радиографический контроль может успешно применяться для оценки качества соединения. Также при сложных формах изделия радиографический контроль остается достаточно популярным. При выполнении протяженных проектов время строительства является критическим показателем. В этом случае радиографический контроль не может являться оптимальным выбором, так как вызывающий задержки в строительстве.

Из-за выполнения радиографического контроля сварного соединения возрастает задержка начала установки систем антикоррозионной защиты на сварное соединение. Данная задержка приводит к необходимости более длительной обработки сварного соединения перед нанесением изоляции.

Системы ультразвукового контроля долгое время не могли широко использоваться для контроля сварных стыков. Это связано со следующими причинами:

- 1) Отсутствовали средства автоматизации выполнения ультразвукового контроля.
- 2) Отсутствовали средства автоматической обработки результатов с датчиков.
- 3) Отсутствовали четкие критерии отбраковки стыков с учетом всех возможностей ультразвука.

Благодаря развитию средств автоматизации в последнее время были решены все описанные проблемы, метод автоматизированного ультразвукового контроля был закреплен в стандартах по методам неразрушающего контроля трубопроводных систем.

При выполнении сварки труб различные отклонения от установленных норм и требований может привести к ухудшению физико-механических характеристик получаемого соединения, что в целом снижает эксплуатационные характеристики трубопроводной системы. Возникающие в процессе сварки дефекты делятся на два типа:

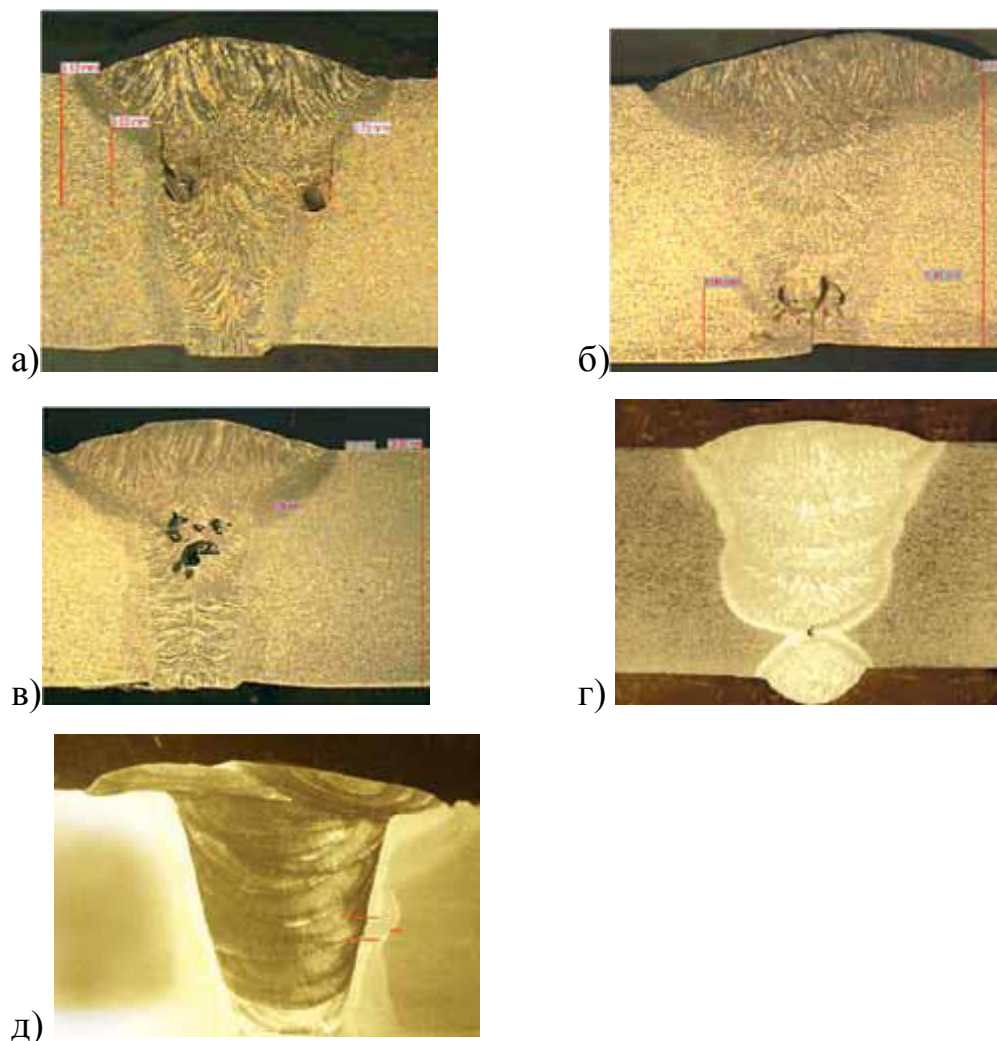


Рисунок 1.16 – Дефекты, которые можно выявить при автоматизированном ультразвуковом контроле соединений: а) несплавления, б) дефекты корня, в) скопления пор, г) непровар, д) несплавление по кромке

1. Набор дефектов, спровоцированный неправильным протеканием металлургических процессов, к которым можно отнести этапы плавления, кристаллизации металла, а также остывание околошовной зоны. Сюда относятся такие дефекты, как термические трещины, образование скоплений пор, шлаковые загрязнения.

2. Набор дефектов, спровоцированных нарушением режимов сварки, нарушениями требований к сборке стыка, а также нарушением связанных с подготовкой кромок. Сюда же относятся дефекты вызванные поломкой сварочного оборудования.

Существующие устройства для перемещения сканера по контролируемому шву обладают следующими недостатками:

1. Низкая надежность, обусловленная перегрузкой подвижной части сканера массивными и длинными подводными кабелями, а так же системой подачи контактной жидкости.

2. Низкая отказоустойчивость, связанная с возможностью отрыва подводных кабелей в процессе движения каретки.

3. Неравномерная подача контактной жидкости.

Аппаратный комплекс для автоматизированного ультразвукового контроля представлен на рисунке 1.17. Данный комплекс состоит из: съемной направляющей (1), каретки (2) с приводом для продольного движения, рамы (3) с приводом для поперечного движения, механизма (4) перемещения искательных головок (6), держателя (5), датчика перемещения (7), дефектоскопа (8), блока питания (9), системы (10) анализа информации, кабеля (12), катушки (11), подвески (13), несущей емкости с контактной жидкостью, а также промежуточного кабеля (25) и трубки для подачи жидкости (26).

Данный комплекс работает следующим образом. Дефектоскоп 8, блок питания 9 и система 10 анализа информации устанавливаются в удобном месте на некотором расстоянии от контролируемого стыка.

На трубопровод рядом с контролируемым стыком устанавливают направляющую 1, и уже на нее крепится каретка со всеми закрепленными на ней элементами. На некотором расстоянии от направляющей устанавливается подвеска 13, закрепляемая прижимами. При этом емкость с контактной жидкостью занимает вертикальное положение. При установке подвески необходимо убедиться, что промежуточный жгут 25 и гибкая трубка 26, образуют петлю длиной, немногим больше длины окружности. С помощью

пульта, предназначенного для управления процессом оператором, каретку 2 и рамку 3 перемещают в исходное положение – для начала операции контроля, после проверки правильности положения каретки с пульта, предназначенного для управления процессом оператором, включают выполнение контроля.

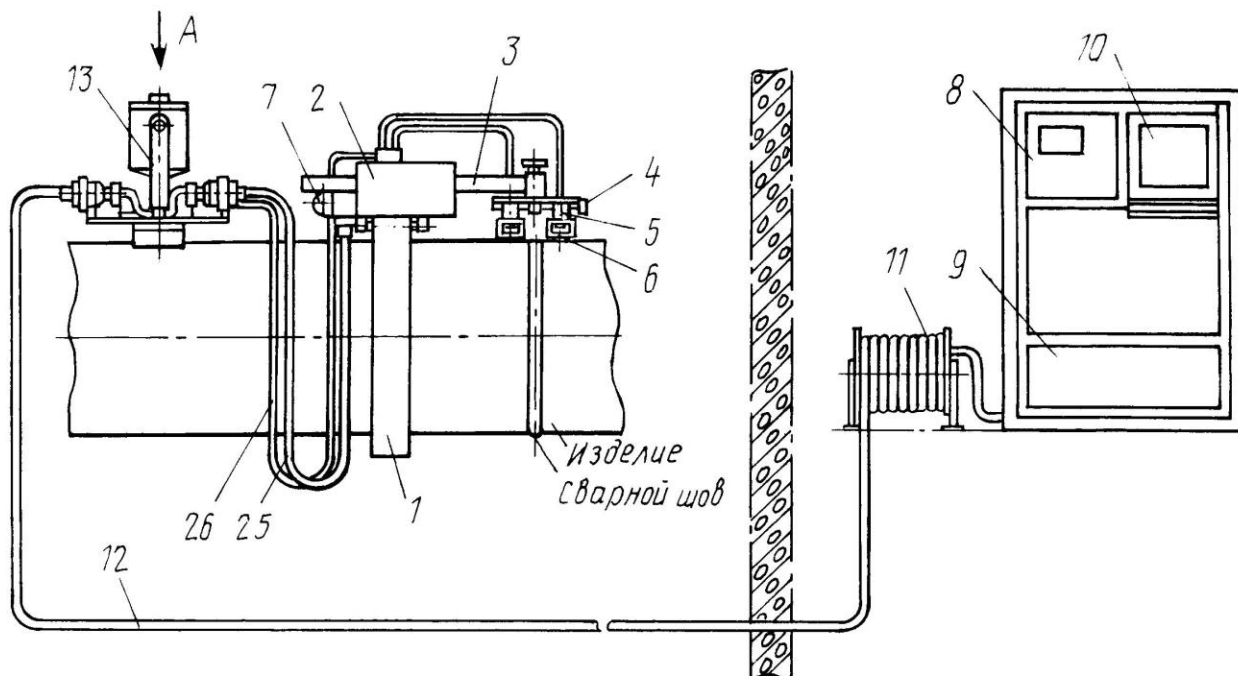


Рисунок 1.17 – Аппаратный комплекс для автоматизированного ультразвукового контроля кольцевых сварных соединений

При этом запускается электродвигатель привода насоса, и насос подает контактную жидкость в головки 6. Оператор наблюдает насколько надежно установлен акустический контакт, и после подтверждения стабильности акустического контакта происходит запуск электродвигателей привода каретки 2 и рамы 3, головки 6 начинают свое движение требуемой траектории в соответствии с программой, заданной оператором. В процессе своего движения вдоль стыка головки 6 выполняют сканирование сечения сварного соединения и околошовной зоны. В процессе сканирования поступающие в систему 10 сигналы от головок, характеризующие наличие дефектов и сигналы от датчиков положения каретки относительно сварного шва обрабатываются и регистрируются системой 10. При передвижении каретки петля жгута 25 становится все меньше, пока в конце хода не сойдет на ноль, полностью охватив изделие. Это является сигналом к отключению всех

приводов и насоса, направляющая может быть демонтирована со стыка и перемещенная для монтажа и последующего контроля на следующий стык.

Базовая структурная единица современной установки для автоматизированного ультразвукового контроля – комплекс на базе электронно-вычислительной машины. Построение такого комплекса может быть выполнено по различным принципиальным вариантам [177]. Схема в которой работа множества каналов организована на основе принципа последовательно-параллельной организации работы каналов контроля приведена на рисунке 1.18.

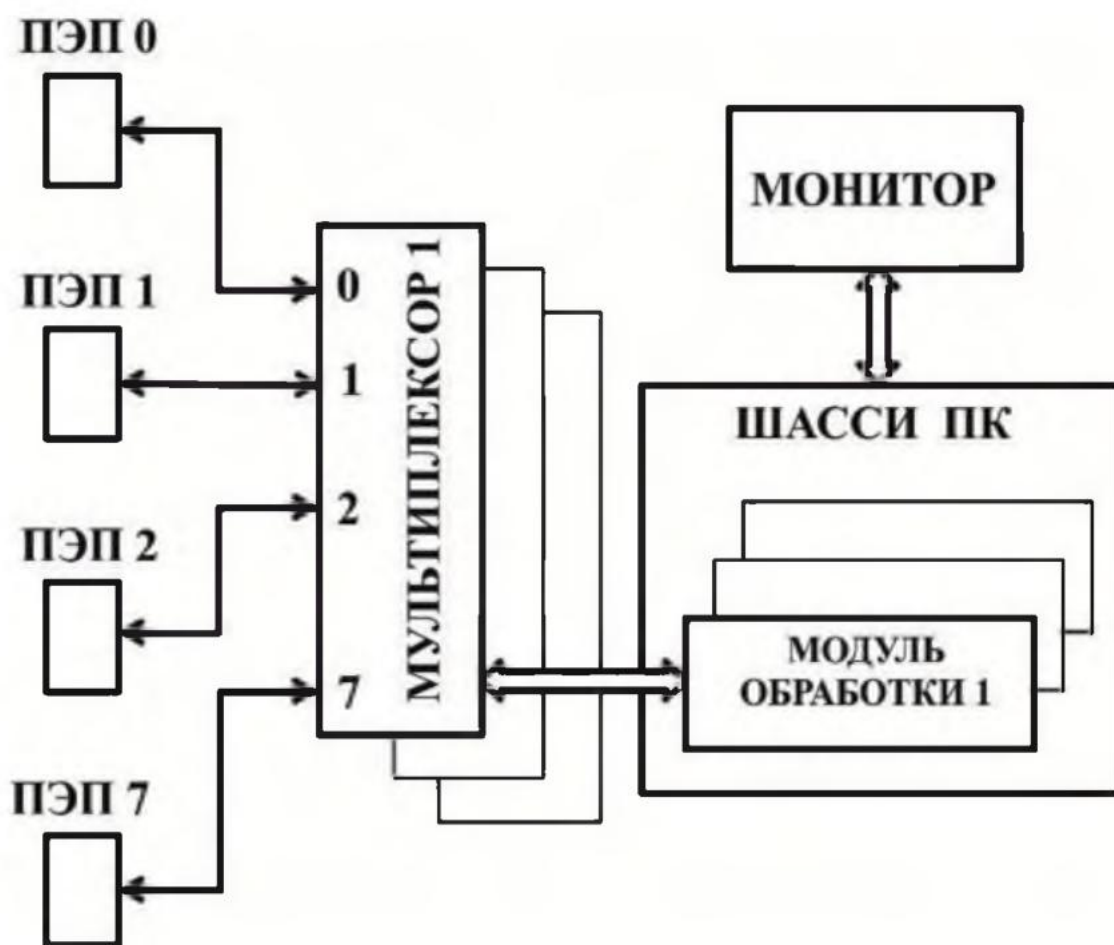


Рисунок 1.18 – Многоканальный комплекс, в котором каналы работают параллельно-последовательно.

Количество пьезоэлектрических преобразователей, передающих параллельно информацию одному процессору (мультиплексору) согласно данной схеме организации работы может достигать до восьми. Сначала

сведения, передаваемые каналами поступают в модуль обработки. Другой процессор (мультиплексор) получает информацию от следующей группы пьезоэлектрических преобразователей. Причем, поступление сведений в мультиплексоры происходит параллельно. Установлены модули обработки информации, поступающей от пьезоэлектрических преобразователей, на шасси электронно-вычислительной машины. Недостаток данной схемы низкая производительность так как группы каналов работают последовательно и высокая стоимость.

Схема в которой работа каналов ведется параллельно, показана на рисунке 1.19. показана структурная схема многоканального комплекса с параллельной организацией модульных Д-каналов. Каналы состоят из одноканальных дефектоскопов.

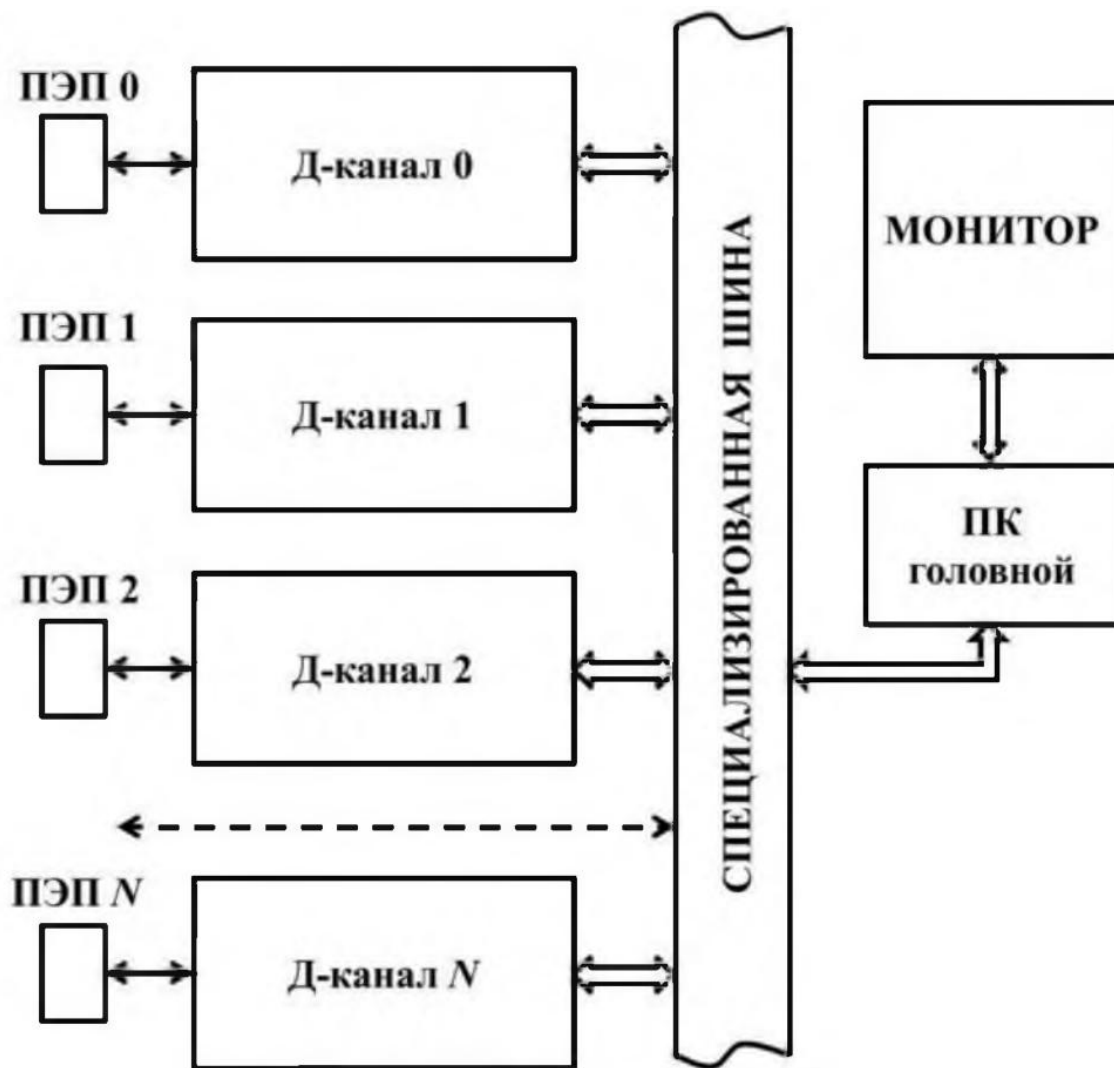


Рисунок 1.19 – Многоканальный комплекс, состоящий из модульных Д-каналов.

Каждый Д-канал представляет из себя специализированный дефектоскоп, укомплектованный полным набором функций приема, передачи и обработки. Специализированная шина объединяет Д-каналы с головным компьютером, в котором производится обработка переданной информации. ЭВМ отображает сигналы А-скан и В-скан, собирает и хранит все данных, дублирует информацию и т.д. По данной схеме построены комплексы SNUP-LO, SNUP-SP фирмы Krautkramer [144], SNUL фирмы Karl Deutsch [145]. За счет параллельной работы каналов обеспечивается высокая производительность. Но оборудование достаточно дорогое.

В показанной рисунке 1.20 схеме комплекса с параллельной работой каналов контроля модульные дефектоскопические блоки смонтированы на шасси ЭВМ и объединены с ней через шину ISA.

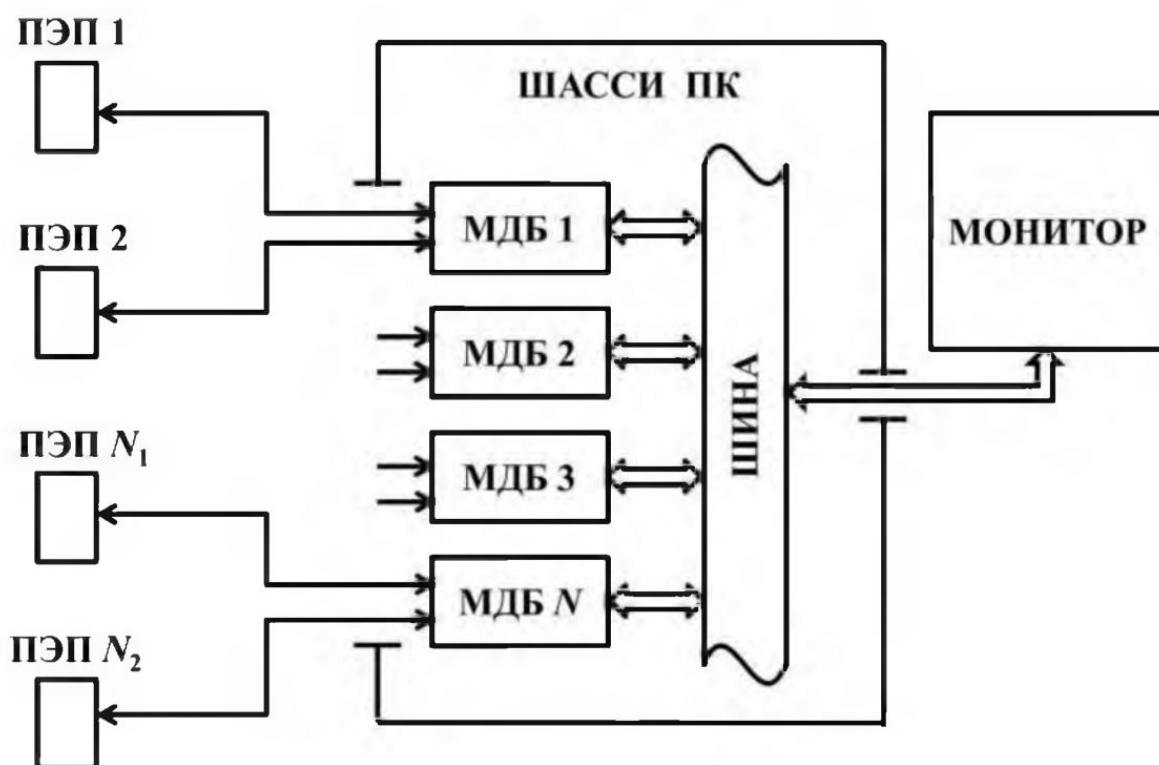


Рисунок 1.20 – Схема многоканального комплекса с параллельной организацией контроля.

При высокой производительности данная схема обладает низкой удельной стоимостью. Но технические параметры комплекса не отличаются широкими возможностями, так как плата электронно-вычислительной машины накладывает определенные ограничения на число подключаемых к ней модулей, следовательно и количество каналов также ограничено.

На примере выпускаемого ООО «АНК» оборудования для ультразвукового контроля сварных соединений труб можно проследить эволюцию техники и технологий контроля. Так, установка НК-160 на базе многоканальной аппаратуры УД-82УА и основанная на аналоговых принципах обработки поступающих сигналов, заменена на установку НК-360. Основным компонентом созданной цифровой установки стал комплекс Интроскоп-02.01. Данный комплекс, является еще и основой для установки НК-362, сменившей аналоговую установку УД-77БМ. Комплексы «Интроскоп» разработаны на базе электронно-вычислительных машин, последнего поколения, адаптированных к работе в условиях производства. Отличительная особенность комплекса – он способен обрабатывать информацию зашумленную, при питании от промышленных электрических сетей.

Установки автоматизированного контроля сварных соединений с применением ультразвуковых колебаний строятся по новым схемам и новым структурным принципам. Важным при проектировании является адаптация установок к условиям контроля сварных соединений трубопроводов, в том числе в полевых условиях. Здесь установлены возможности изменения частоты ультразвуковых колебаний, мощности импульса ультразвука от одного такта контроля к другому, что в сочетании с изменяемыми положениями в пространстве пьезоэлектрических преобразователей повышает информативность метода автоматического контроля ультразвуком.

Существенное увеличение чувствительности методов контроля обеспечивается за счет статистической обработки в режиме реального времени. Поступающие сигналы суммируются по фазам, происходит их накопление в памяти электронно-вычислительной машины, последующая выдача для обработки. Получена возможность формирования различных типов ВРЧ и повышения чувствительности контроля за счет статистической обработки сигналов (накопление и фазовое суммирование).

Модернизация оборудования и программ обработки повышает возможности машин для автоматического ультразвукового контроля. Используемые на производстве машины для ультразвукового контроля могут расширить возможности в плане выявления дефектов, повышения точности обнаружения дефектов, кроме того, могут быть разработаны совершенно иные методы проведения автоматического ультразвукового контроля.

Сюда можно отнести такие дополнительные функции установок, как контроль акустического контакта между пьезоэлектрическим преобразователем и контролируемым изделием. Другим направлением модернизации является создание методик, обеспечивающих более точное слежение за контролируемым сварным швом.

Важным является увеличение устойчивости установок контроля к помехам и обеспечение регулировки уровня усиления каналов в автоматическом режиме.

Использование средств вычислительной техники обеспечивает создание баз данных. В памяти которых может храниться такая информация, как результаты контроля какого либо изделия, настройки для группы однотипных изделий, применение дистанционных настроек за счет использования выносных пультов.

Результаты теоретических исследований особенностей автоматического контроля сварных соединений трубопроводов позволяют сформулировать следующие принципы построения установок для автоматического контроля, благодаря реализации которых обеспечивается высокая производительность.

Высокая достоверность, при контроле сварных швов трубопроводов, которые соединяются сваркой плавящимися электродами.:

- модернизация и создание новых узлов аппаратной части – генераторов, усилителей, систем, контролирующих положение пьезоэлектрических преобразователей относительно сварного шва;
- автоматический выбор оптимальных параметров пьезоэлектрических преобразователей, автоматическое определение схем контроля, обеспечивающих максимальную достоверность результатов;
- автоматический выбор оптимальных параметров акустического тракта и схем прозвучивания в зависимости от диаметра труб, толщины стенки и оптимизация характеристик пьезоэлектрических преобразователей с учетом работы с использованием длинного кабеля;
- активное внедрение новинок в сфере информатики. Новые электронно-вычислительные машины, новое программное обеспечение, новые алгоритмы обработки поступающей с датчиков информации, новые алгоритмы дешифровки поступившей в ЭВМ информации;
- самодиагностика аппаратуры ультразвукового контроля;
- создание схем, позволяющих увеличивать или уменьшать количество каналов, подключенных к процессору вычислительной машины, изменяющих режимы работы пьезоэлектрических преобразователей непосредственно в процессе контроля и пр.

1.3 Задачи работы

Проведенный анализ показал, что основная масса работ по определению качества сварных соединений выполняется ультразвуковыми методами. Современная аппаратура в сочетании с высокой квалификацией исполнителей позволяет обеспечивать высокую достоверность результатов контроля.

В течение нескольких последних десятилетий дефектоскопы совершенствовались. Габариты и вес дефектоскопов уменьшались, появлялись дополнительные сервисные функции: запоминание настроек; запоминание результатов контроля; регулировка чувствительности в процессе измерений.

Внедрялись новые схемы прозвучивания, например, применение хордовых преобразователей. Тем не менее, решение о соответствии сварного соединения требованиям принимается по результатам анализа амплитуды сигнала, координат расположения дефекта и размеров дефекта выполняемого оператором.

Дальнейший шаг – создание приборов с развертками В (В-scan) и С (С-scan). В развертках В принятые эхосигналы формируют изображение на плоскости, в развертке С изображение формируется объемное. Это явилось предпосылкой разработки автоматизированных методов контроля.

Изображение дефектов лучше воспринимается и анализируется человеком, чем эхо сигнал. Однако приборы для автоматизированного контроля существенно сложнее. Например, у одного из вариантов в пьезоэлектрическом преобразователе 8 излучающих- принимающих элементов

По результатам анализа применительно к автоматическому контролю сварных швов труб, выполненных электродуговой сваркой плавящимся электродом и для обеспечения высокой точности определения параметров положения дефектов, вида дефектов и при создании новых систем автоматического контроля следует обеспечить:

- разработку генераторов импульсов, усилителей, устройств автоматического регулирования уровня сигнала, устройств, обеспечивающих определение пространственного положения датчиков относительно сварных соединений;

- внедрение достижений в области информатики: Новые электронно-вычислительные машины, новое программное обеспечение, новые алгоритмы обработки поступающей с датчиков информации, новые алгоритмы дешифровки поступившей в ЭВМ информации;

- обеспечение гибкости разрабатываемых устройств, позволяющих увеличивать или уменьшать количество каналов, подключенных к процессору вычислительной машины, изменяющих режимы работы пьезоэлектрических преобразователей непосредственно в процессе контроля.

Исходя из изложенного и сформулированной цели, в работе поставлены следующие основные задачи:

– выявить способ повышения производительности ультразвукового контроля;

– выполнить анализ возможных вариантов повышения производительности способа;

– определить необходимые исследования, требуемые для успешного перехода к автоматизированным методам контроля;

– разработать методику проведения исследований;

– выполнить эксперименты и оценить их результаты;

– передать результаты исследований производителю аппаратуры.

.

.

2 Методика исследований

2.1 Влияние температуры на угол ввода колебаний

Скорость распространения колебаний звуковой частоты в материале пьезоэлектрического преобразователя и в материале трубы оказывает воздействие на угол α и на величину L_0 . В свою очередь, скорость распространения колебаний звуковой частоты в материале пьезоэлектрического преобразователя и в материале трубы зависит от температуры. Нестабильность α является дестабилизирующим фактором для параметра L_0 , и наоборот. Причина этого в том, что указанные параметры L_0 и α находятся во взаимной связи друг с другом.

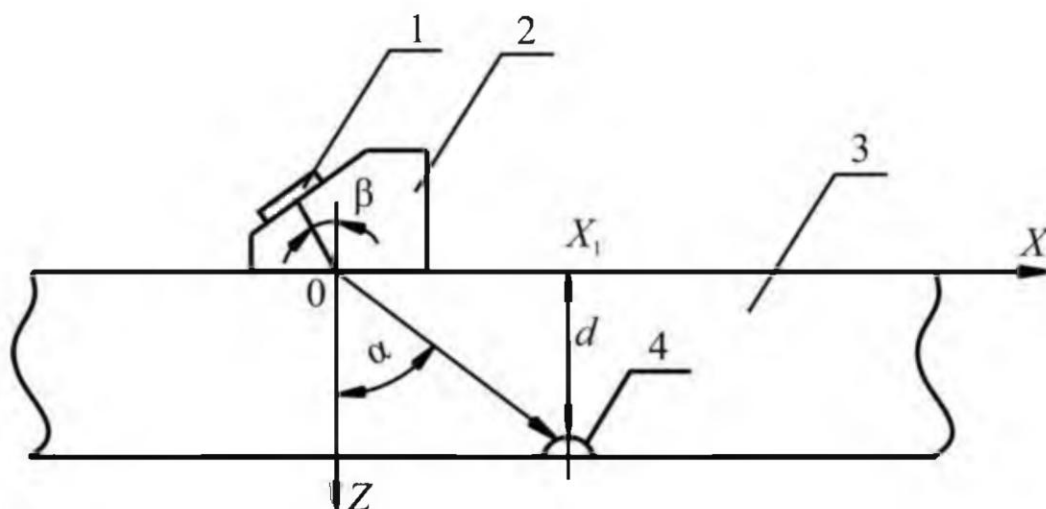
Поэтому, если угол α изменяется, приходится выполнять настройки других параметров, при этом, существенное влияние на размер угла α оказывает температура окружающей среды.

В связи с изложенным, проводили эксперименты. Позволяющие оценить изменение угла α в зависимости от изменения величины температуры окружающей среды. Экспериментальные исследования изменения угла α в зависимости от изменения температуры окружающей среды проводили использованием стандартных пьезоэлектрических преобразователей, рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 – Пьезоэлектрические преобразователи.

Схему проведения эксперимента принимали согласно рисунка 2.2. Для проведения экспериментов применяли преобразователи из органического стекла с углом призмы 45° и 52° . Частоту ультразвуковых колебаний, при проведении исследований принимали 2,5 МГц и 5 МГц.



- 1 - пьезопластина; 2 - призма (P - угол призмы из оргстекла);
- 3 - стальная плита (ширина 50 мм, длина 100 мм, толщина 40 мм);
- 4 - отражатель в виде паза с цилиндрическим дном (радиус 1 мм, глубина 3 мм)

Рисунок 2.2 – Схема эксперимента

Распространение ультразвуковых колебаний фиксировали в стальной плите размерами 50 x 40 x 100 миллиметров.

2.2 Влияние угла ввода колебаний на прохождение ультразвука

Проводимые исследования позволили установить, что величина угла Из преломления α_0 для акустической оси у наклонного пьезоэлектрического преобразователя при распространении ультразвуковых колебаний в стали, для определения которой применяли зависимость согласно закона Снеллиуса, отличается от направления центрального луча для пучка волн сдвига. Максимум амплитуды излучения отмечен в центральном луче, следовательно, можно предположить, что центральный луч соответствует углу ввода α сдвиговых волн в металл исследуемого образца (рис. 2.2), при этом $\alpha > \alpha_0$.

Если определить разность $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$, то она будет являться показателем для определения характеристик мнимого излучателя.

В [25] для определения α разработан способ построения мнимого излучателя основанный на разности $\alpha - \alpha_0$. Необходимость использования в экспериментах мнимого излучателя [26] обоснована на том, что соотношение, связывающее малые углы отклонения от акустической оси для призмы и для исследуемого изделия, может быть записано следующим образом:

$$\sin(\Delta\beta) = \frac{C_{\text{П}}}{C_{\text{И}}} \sin(\Delta\alpha) \frac{\cos\alpha_0}{\cos\beta} \quad (2.1)$$

где P - угол падения (угол призмы);

$C_{\text{П}}$ - скорость ультразвуковых колебаний в призме;

$C_{\text{И}}$ - скорость ультразвуковых колебаний в изделии.

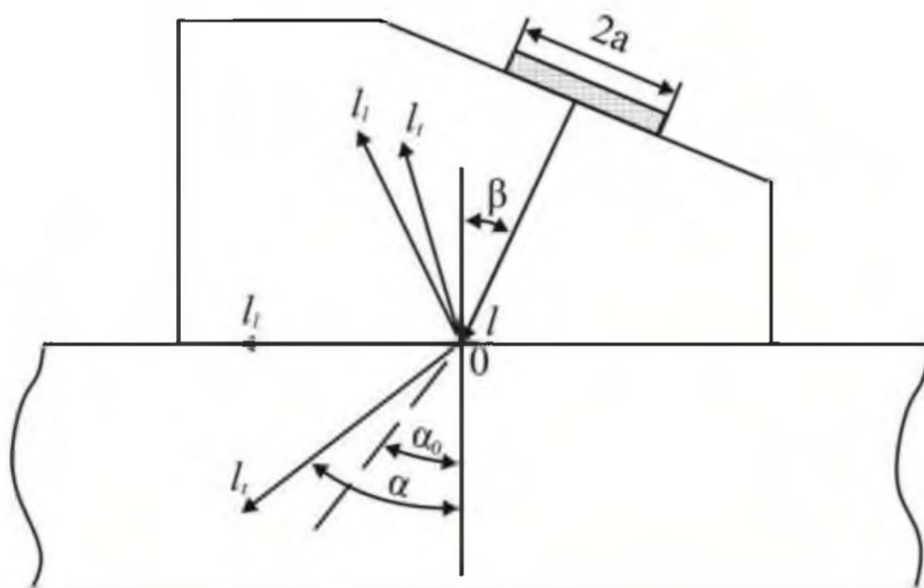


Рисунок 2.2 – Схема ввода пучка сдвиговых волн в металл трубы

Проводимые исследования показали, что с использованием данной зависимости становится возможным определение угла альфа для каждого конкретного пьезоэлектрического преобразователя. Однако, расчетная зависимость дает корректные результаты для случая, когда толщина

контактного слоя жидкости $\lambda_{ж}$ меньше, чем длина волны ультразвука в данной жидкости.

При прохождении сдвиговых волн по материалу контролируемой трубы пучок сдвиговых волн претерпевает многократные отражения от границ раздела фаз, в роли которых, для данного случая, выступают свободные поверхности стенки трубы. Чтобы выяснить, при каких случаях при отражении от границ раздела фаз сдвиговые волны не трансформируются в продольные, необходимо найти параметры процесса отражения, при которых α превышает величину 57° . Величина 57° - это величина третьего критического угла.

В ряде случаев стремятся обеспечить величину угла альфа примерно равным 70 градусам [9, 13, 27]. При этом стремятся к тому, чтобы амплитуда отраженного сигнала мало зависела от изменения значений угла альфа.

Согласно данным, приведенным в [25], на участке $\alpha \approx 70^\circ$ зависимость коэффициента прозрачности D_h от угла падения на поверхность исследуемого образца β , очень сильная. Таким образом, незначительно изменяя угол β , сильно изменяем угол α . Поэтому изменения амплитуды эхосигнала от дефекта сварного соединения тоже получаются весьма сильными. Увеличение достоверности при автоматических методах контроля настоятельно требует, чтобы изменения $D_h(\beta)$ были незначительны, и, чтобы это получить, угол α должен находиться в пределах $60^\circ - 65^\circ$. Таким образом, для автоматизированного контроля следует применять пьезоэлектрические преобразователи, угол призмы у которых изменяется в пределах $43^\circ - 48^\circ$, при условии что данные преобразователи выполнены из органического стекла). При условии выполнения указанного диапазона ввода волн получим, что $D_h \approx 0,22$.

Проведенные исследования величины угла β у серийных преобразователей, см. рис. 2.1., показали наличие некоторой незначительной величины его разброса.

Однако, при этом, получаем большие величины разброса значений угла α . Особенно значителен разброс в диапазоне углов, приближающихся к величине $\alpha \approx 70^\circ$. Другой особенностью отмеченной при проведении

исследований является большая интенсивность поверхностных волн, как раз, когда $\alpha \approx 70^\circ$. Опасность волн большой интенсивности заключается в том, что может произойти наложение двух импульсов: от передней кромки валика усиления шва и от строб-импульса. В совокупности это снижает достоверность результатов контроля.

2.3 Определение числа отражений, при котором обеспечивается получение достоверных результатов.

При контроле сварных труб распространение импульса ультразвука происходит в криволинейной передающей среде. Проведенные исследования позволили установить, что влияние кривизны трубопровода контролируемого должно учитываться, если отношение толщины стенки к диаметру контролируемой трубы превышает 0,1

Исследования позволили разработать расчетные зависимости, позволяющие определить расстояние, которое прошел зондирующий импульс от места попадания его в металл исследуемой трубы до сварного шва в трубах, в которых соотношение толщины стенки к диаметру превышено.

Практические результаты при контроле металлических листов наклонным пьезоэлектрическим преобразователям показали, что амплитуда эхосигнала ($A\delta$), от искусственного отражателя существенно превышает амплитуду эхосигнала от того же отражателя, находящегося в полубесконечном образце.

В работе [29] рассмотрен термин «мнимый излучатель» и выявлено максимальное возможное количество отражений волн от раздела фаз n_m . Если количество отражений больше, то лист уже не может быть рассмотрен с точки зрения параметров полубезграничной среды. Числу n_m соответствует граничное расстояние L_m от точки ввода сдвиговых волн (точка 0 на рис. 2) до отражателя. Если условие $n > n_m$ выполняется, то увеличение амплитуды $A\delta$ от отражателя незначительно и им можно пренебречь.

Для численного определения n воспользуемся формулой:

$$n = L \frac{\operatorname{tg}(90 - \alpha)}{d} - 0,5 \quad (2.2)$$

где d - толщина листа;

α - угол ввода сдвиговых волн.

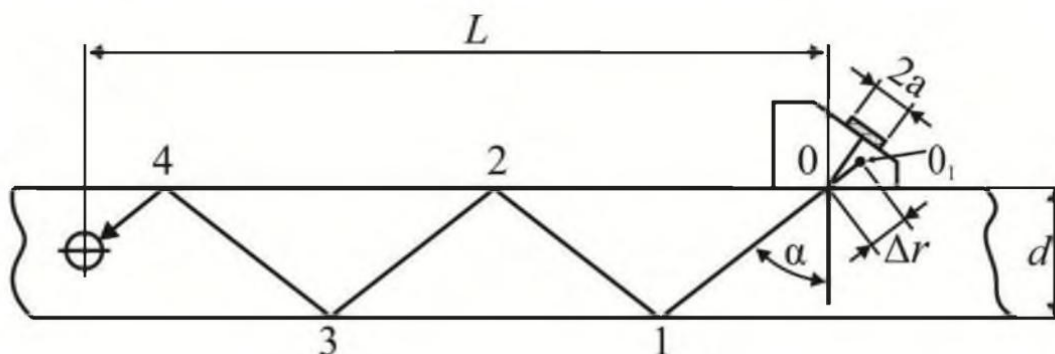


Рисунок 2.3 – Схема отражений центрального луча пучка

Увеличение $A\delta$ обусловлено расширением диаграммы направленности мнимого излучателя при многократных отражениях.

2.4 Определение амплитуды эхо-сигнала в трубе, в зависимости от места ввода излучения

При автоматизированном контроле сварных соединений труб в потоке ТЭСА анализ функции $A\delta(L)$, представляет интерес для практики. На рис. 2.4 приведена схема многократных отражений пучка сдвиговых волн (зондирующего импульса) от стенок трубы, использованная для получения зависимости $A_\delta(L)$. Согласно [28] интересующие нас трубы можно рассматривать как лист с точки зрения ввода и распространения волн в металле стенки трубы, то есть, справедливы результаты работы [28].

В [9] рекомендуют применять n не более трех, что вызвано желанием получить A_δ большой амплитуды. Но выбор малого n приводит к значительным изменениям амплитуды A_δ при незначительном смещении шва относительно ПЭП по периметру трубы. Это обусловлено тем, что 2^й и 3^й пики осцилляции функции $A_\delta(L)$ имеют большую крутизну фронтов, то есть на этих участках имеет место "быстрое" изменение амплитуды A_δ от аргумента L . При выборе длительности строб-импульса (зоны контроля) на уровне $0,8 A_{\delta \text{ так}}$ его

длительность оказывается малой.

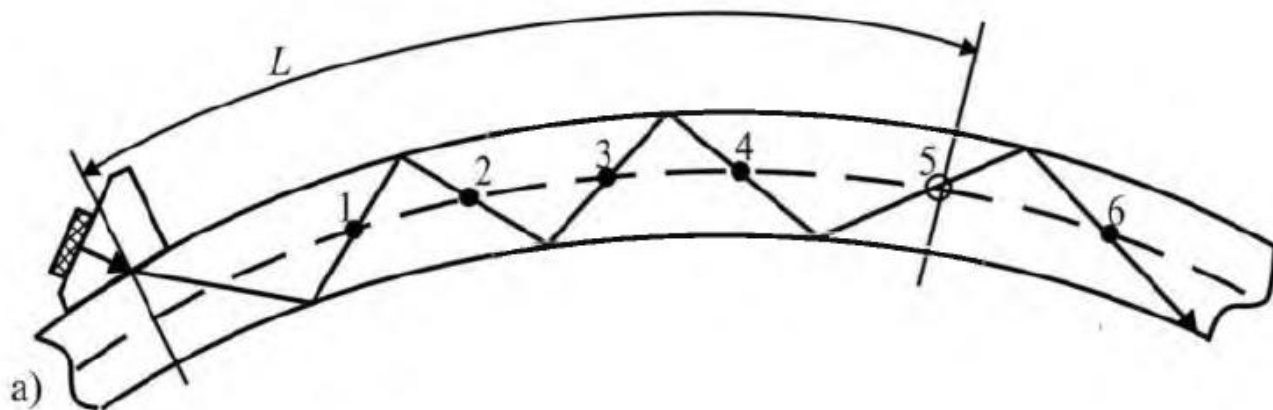


Рисунок 2.4 – Схема распространения волн в металле стенки трубы

Выше было сказано, что решающим параметром в процессе автоматизированного контроля сварных соединений является величина L_0 - оптимальное расстояние по наружной части периметра исследуемой трубы от точки ввода ультразвуковых колебаний в металл трубы до отражателя (дефекта, естественного или искусственного) в металле шва. Выбор размера L_0 производят на образцах, изготовленных из отрезка трубы без шва [9]. После расчетного определения числа n значение L_0 уточняют экспериментально. Согласно (2.4) получим

$$Lq = (n + 0,5)d/\text{tg}(90 - \alpha). \quad (2.5)$$

2.5 Исследование вариантов защиты от помех.

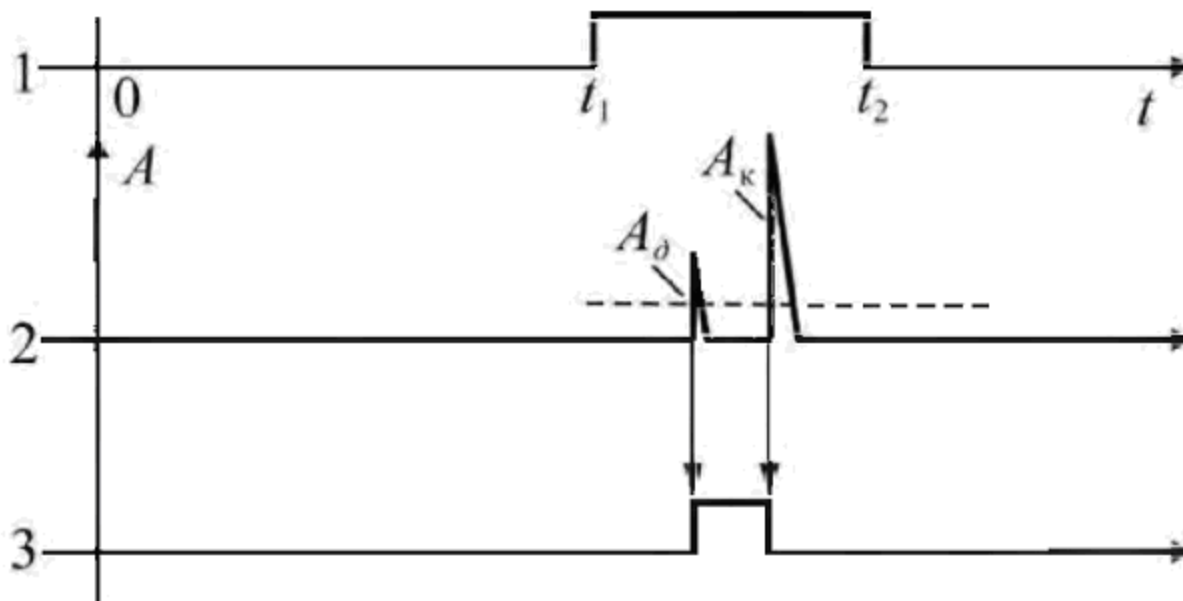
Помехи при выполнении ультразвуковой дефектоскопии в полевых условиях могут иметь причиной своего возникновения колебания напряжения питающей сети, особенно актуальным это является для случая когда контроль выполняется параллельно с другими технологическими операциями, сварки

стыков, например. Поэтому выполняли изучение сигнала A_k который используется в качестве базового для генерации во времени сигналов A_d [11]. Из вышеизложенного следует, что уменьшение времени базового сигнала A_k уменьшает вероятность попадания в него посторонних шумов и помех.

Кроме скачков напряжения еще в качестве помех выступают поперечные смещения шва относительно пьезопреобразователей и изменения ширины валика. Некоторые установки способны в какой то степени компенсировать плавные изменения ширины валика.

На рис. 2.5 строб-импульс показан на диаграмме 1. На диаграмме 2 показаны сигнал A_d и сигнал A_k , которые попадают в строб-импульс, то есть, нет временной селекции A_d и A_k . Нас интересует временной интервал между передними фронтами A_d и A_k на определенном уровне (пунктирная линия на диаграмме 2). Используя известные электронные устройства этот интервал можно сформировать в виде измерительного импульса ИИ_Э (диаграмма 3) и измерить его длительность. Кроме ИИ_Э, в некоторых тактах зондирующего импульса будут формироваться ложные измерительные импульсы (ИИ_Л), обусловленные наличием промышленных импульсных помех. Для решения задачи помехозащиты используем признак синхронности сигналов A_d и несинхронности импульсов помех, то есть сигнал A_d появляется в каждом последующем такте зондирующего импульса, а импульс-помеха этому условию не удовлетворяет [11].

Пусть в некотором такте появился ИИ_д или ИИ_л. По разработанному алгоритму [15] этот такт принимается за первый. Измеренное значение интервалов ИИ_д σ или ИИ_л запоминается в первой ячейке специальной секции памяти дефектоскопа. В следующем такте измеренное значение ИИ_Э или ИИ_Л сравнивается с предыдущим значением и, если оно не равно, то первая и вторая ячейки секции очищаются и новый такт, если в нем появился ИИ_д или ИИ_л, вновь принимается за первый. Если же имеется равенство значений интервалов



1 — строб-импульс; 2 — пара эхосигналов (A_{δ} — от дефекта, A_{κ} — от дальней кромки валика усиления); 3 — измерительный импульс

Рисунок 2.5 - Временные диаграммы канала дефектоскопа

ИИ_δ первого и второго тактов, то аналогичная операция выполняется в третьем такте. Если полученное значение ИИ_δ в третьем такте равно значению второго такта, то дефектоскоп регистрирует сигнал A_{δ} , то есть первый эхосигнал, имеющийся в строб-импульсе (диаграмма 2). При отсутствии равенства значений интервалов ИИ_δ третьего и второго тактов ячейки секции очищаются, а четвертый такт вновь принимается за первый, если в нем имеется ИИ_δ или ИИ_л, то есть цикл повторяется. С помощью специального счетчика можно задать число последовательных тактов N , в которых должно быть одно и тоже значение ИИ_δ, то есть можно увеличить надежность помехозащиты регистрируемых сигналов A_{δ} . Число N на практике выбирают равным 3 — 6. Заметим, что увеличение числа N приводит к необходимости иметь большую плотность сигналов A_{δ} на каждый мм движущегося шва, то есть необходимо увеличивать частоту зондирующих импульсов (скорость движения трубы задана потоком их производства).

За счет такого технического решения регистрация импульсов от

индустриальных помех не производится дефектоскопом, работающем при контроле сварных швов. Следовательно, в каналах дефектоскопа можно использовать строб-импульсы, длительность которых определяется только размером пика осциллирующей функции $A_d(L)$, например, на уровне $0,8 A_{d \max}$. Поэтому необходимо рассмотреть данный вариант увеличения помехозащищенности.

3 Результаты исследований

3.1 Результаты исследований влияния температуры.

Результаты исследований влияния температуры на угол ввода пучка ультразвуковых колебаний показаны на рис. 3.1. Анализ приведенных там данных позволяет сделать вывод, что, более слабая зависимость $\Delta\alpha(t^{\circ}\text{C})$ наблюдается у пьезоэлектрических преобразователей с углом 45° . Не обнаружена существенная зависимость α от выбора частоты 2,5 МГц или 5 МГц.

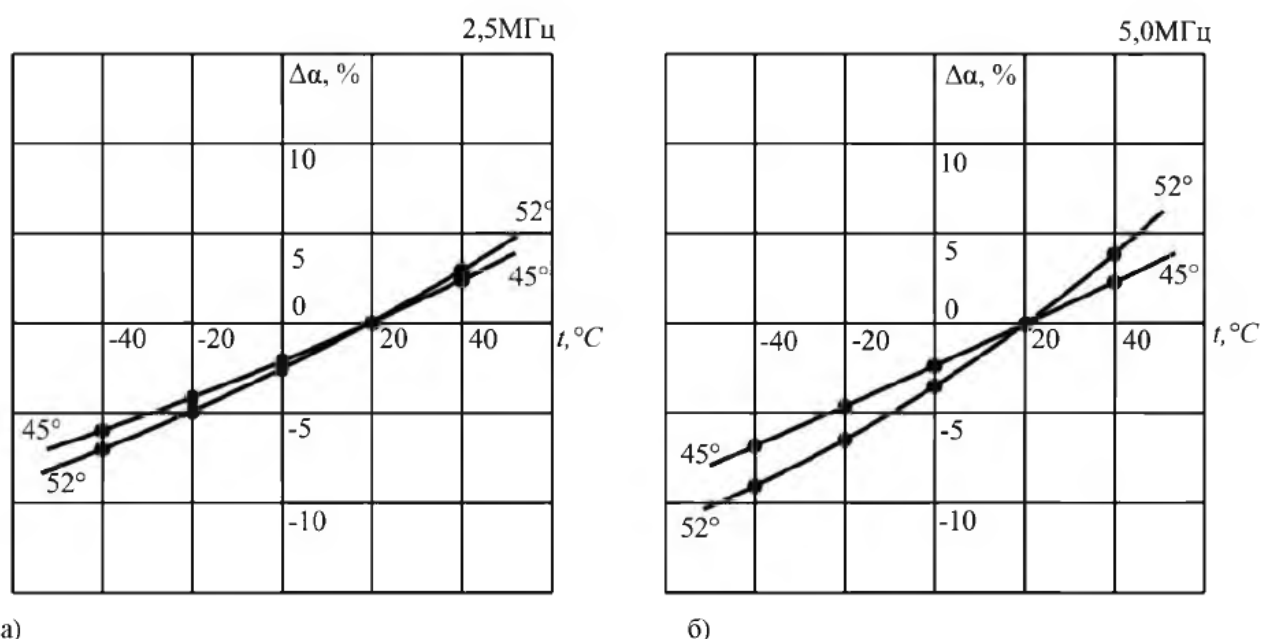


Рисунок 3.2 – Зависимость относительного изменения угла α для стали от температуры окружающей среды: угол призмы 45° и 52° (оргстекло): а) частота УЗК 2,5 МГц; б) частота УЗК 5,0 МГц

3.3 Результаты исследования количества отражений, обеспечивающих достаточную точность.

При большом α число n_m мало, например, для $\alpha = 68^{\circ}$, $n_m = 3$, при этом $d = 7$ мм, а диаметр пьезопластины пьезоэлектрического преобразователя $d \approx 10$

мм. Расстояние между центром мнимого излучателя O_1 и точкой O можно определить по формуле из [29]

$$\Delta r = Z \frac{C_{11} \cos \alpha}{C_{t2} \cos \beta} - 0,5 \quad (3.3)$$

где Z - путь излучаемых волн в призме;

C_{11} - скорость продольных волн в призме; C_{t2} - скорость сдвиговых волн в стали.

При $\alpha = 68^\circ$, $f = 2,5$ МГц угол расхождения диаграммы направленности мнимого излучателя на уровне 0,5 равен $\pm 7^\circ$ от оси.

Расстояние, пройденное зондирующим импульсом от точки ввода до отражателя, можно определить по формуле

$$S = (n + 0,5)d / \sin(90 - \alpha). \quad (2.4)$$

Для $L < L_m$ справедлива теория для расчета амплитуды A_d , принятая для полубезграничных сред [3]. Функция $A_d(L)$ является осциллирующей [29] и с ростом L глубина осцилляций уменьшается, то есть имеет место потеря направленных свойств пучка сдвиговых волн (расширение пучка). В работе [30] отмечено, что при ширине пучка УЗК большей толщины листа распространение ультразвуковых колебаний имеет волноводный характер [82]. Это имеет место при $n > n_m$, что и объясняет явление увеличения амплитуды эхосигнала и сглаживание осцилляций функции $A_d(L)$.

3.4 Результаты определения амплитуды эхо-сигнала в трубе в зависимости от места ввода излучения.

На рисунке 3.3 показан экспериментально полученный график функции $A_0(L)$ для образца стальной трубы диаметром 360 мм, содержащий цилиндрический отражатель диаметром 2 мм посередине между поверхностями стенок образца.

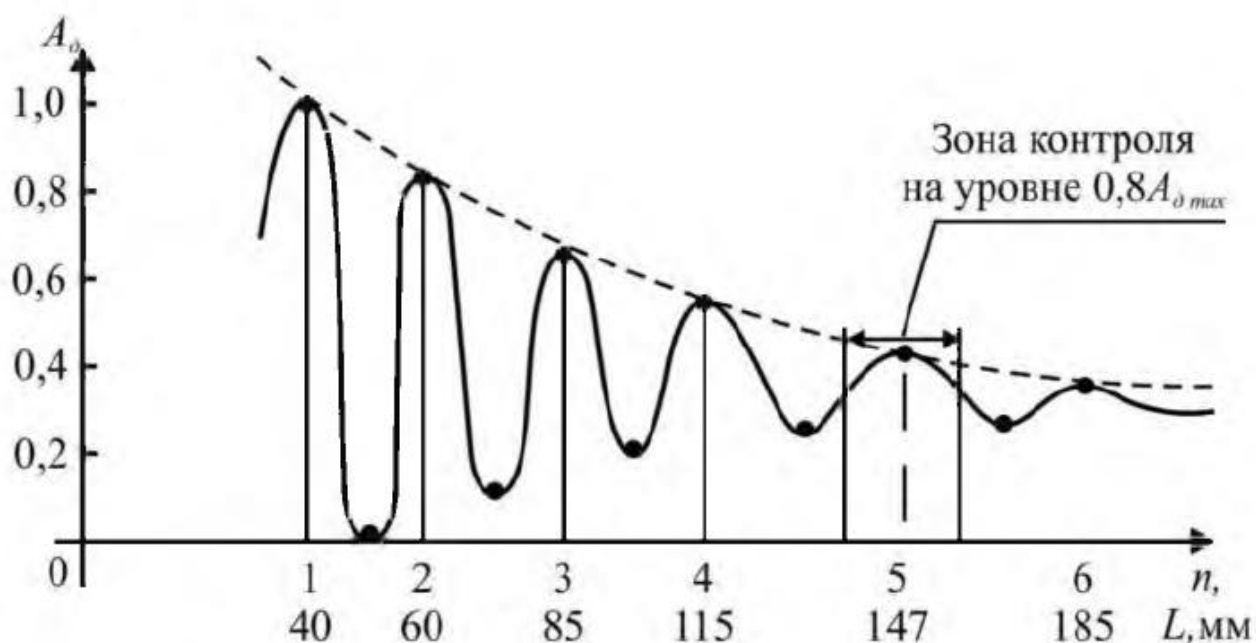


Рисунок 3.3 – Изменение амплитуды в зависимости от расстояния

Был использован пьезоэлектрический преобразователь с углом призмы $P = 45^\circ$ (оргстекло), пьезопластина 0,8 мм, 2,5 МГц. Огибающая пиков $A_0(L)$ (пунктирная линия на рис. 3.3, мало отличается от затухающего участка известных АРД диаграмм) [3, 17].

В качестве нормы принято значение A_0 , когда отражатель находится в точке 1 (рис. 2.3, а). При $n=5$ возможна более широкая зона контроля по периметру трубы, и большая длительность строб-импульса, а значит можно снизить требования к точности слежения за смещениями шва относительно пьезоэлектрического преобразователя.

3.5 Результаты исследований повышения помехозащищенности при помощи двух преобразователей

Способ контроля шва с помощью двух наклонных ПЭП, расположенных по обе стороны шва и жестко закрепленных между собой и направленных навстречу друг другу показан на рисунке 3.7) [21, 25]. Этот способ основан на измерении временных интервалов попеременно для канала с

пьезоэлектрического преобразователя 1 и канала с пьезоэлектрического преобразователя 2. По разработанному алгоритму [15] определяется сумма временных интервалов при отсутствии дефекта в металле движущегося шва, которая изменяется во времени медленно из-за возможных изменений ширины шва. При появлении дефекта в металле шва сумма временных интервалов существенно уменьшается, что и служит признаком дефектной ситуации, регистрируемой дефектоскопом.

При появлении дефекта в движущемся сварном шве в строб-импульсе C_1 появляется сигнал $A_{\partial 1}$, а в строб-импульсе C_2 — сигнал $A_{\partial 2}$. Если сумма значений интервалов $ИИ_{К1}$ и $ИИ_{К2}$ меньше установленного порога селекции, то дефектоскоп регистрирует амплитуду сигнала $A_{\partial 1}$ и отдельно амплитуду сигнала $A_{\partial 2}$.

Разработанный метод может быть использован для надежного определения наличия дефекта в металле шва и регистрации сигналов $A_{\partial 1}$ и $A_{\partial 2}$ при воздействии на измерительный комплекс различного рода помех.

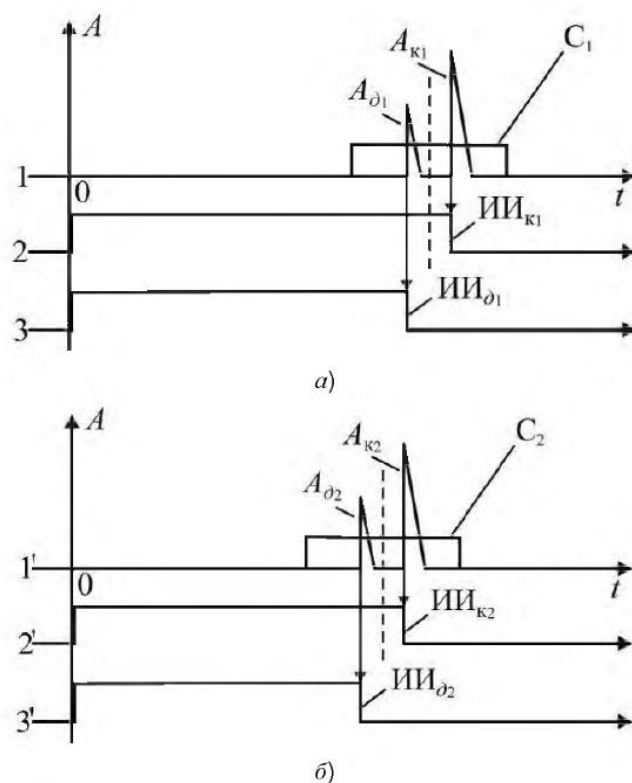


Рисунок 3.7 – Временные диаграммы двух каналов дефектоскопа, а – канал 1, б – канал 2

4 Технологические рекомендации производителю

По результатам работы отдела дефектоскопии Ульяновскнефть и с учетом проделанных исследований в качестве рекомендаций производителю подготовлено следующее.

Разработан упрощенный алгоритм работы программного обеспечения 1-го такта 1-го канала автоматизированных установок построенных на базе многоканального дефектоскопического комплекса. Алгоритм приведен на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Упрощенный алгоритм программного обеспечения 1 такта 1 канала.

Подготовка проектируемой автоматизированной установки к настройке выглядит следующим образом. После запуска оборудования программное обеспечение загружается в модуль устройства выполнения диагностического контроля. Кроме операционной системы загружаются программы и драйвера, разработанные для обеспечения УВДК и аппаратной части установки. После выполнения загрузки оператор установки начинает настраивать ее в соответствии со стандартным образцом предприятия для данного вида контролируемого объекта.

Процедура настройки установки выполняется в соответствии с разработанными методиками. В первую очередь выполняется настройка тактовой частоты прозвучивания сварного соединения ее схемы. Правильно выбранная схема контроля напрямую оказывает влияние на качество выявления дефектов сварных соединений. После того, как схема контроля разработана, она загружается в память установки в виде загрузочного файла. Каждый файл получает свое наименование, соответствующее геометрическим характеристикам исследуемого трубопровода – на каждый вид геометрических характеристик. Хранение таких файлов реализовано в постоянной памяти установки, откуда в случае надобности файл может извлекаться и запускаться в работу, допустим, при смене геометрических и иных характеристик контролируемого трубопровода. Оператор не производит настроечные действия каждый раз, а использует уже хранящиеся в постоянной памяти установки файлы.

Для наглядности и удобства работы оператора все производимые им действия и реакция на эти воздействия отображаются на экране дисплея. Для этого используется программа графического отображения и настроечных параметров.

Эта программа предусматривает отображение на экране дисплея формируемой кривой ВРЧ, по две в каждом канале контроля; формирование развертки типа В; программу работы установки от датчика пути (датчика линейной координаты) или от внутреннего таймера в режиме настройки или тестирования.

Одним из требований к внедрению автоматизированного оборудования для ультразвуковой дефектоскопии является подключение оборудования к локальным сетям предприятия. Данная функция обеспечивает оперативное воздействие на технологические процессы выполнения сварных стыков трубопроводов, предпринимать необходимые действия при несоответствии качества сварного соединения и пополнять базу данных контроля с обеспечением ее хранения и использования при проведении профилактических и ремонтных работ при эксплуатации.

Поэтому каждая установка должна снабжаться набором необходимого программного обеспечения..

Решающим фактором. Обеспечивающим высокое качество сварных соединений является достоверность. На нее, в первую очередь, оказывают влияние технические и метрологические параметры контролирующего оборудования, обеспечение неизменности характеристик установок на протяжении фиксированного промежутка времени. Поэтому метрологические службы Ульяновскнефть пристальное внимание уделяют аттестации и поверке установок для контроля сварных соединений трубопроводов. Для каждой конкретной установки выполняется разработка методики поверки. Поверочные манипуляции Анд оборудованием контролируются и курируются государственными и отраслевыми службами стандартизации.

Тестирование установок предназначенных для автоматического ультразвукового контроля на предмет проверки исходных настроек, с использованием стандартных образцов должно проводиться не реже двух раз в рабочую смену.

Согласно процедуры контроля, если по ее результатам выявлено несоответствие настроечных характеристик для данного стандартного образца предприятия, то сварные соединения, контроль которых выполнялся в течение последних четырех часов возвращаются. Для всей возвращенной партии производится повторный контроль с помощью образцового прибора, настроенного в соответствии с данным стандартным образцом.

Параметры, согласно которым выполненное сварное соединение может быть признано негодным, установлены в ряде стандартов – отечественных и международных, в отраслевых стандартах и сформулированы в руководящих документах и СНИПах на строительство трубопроводов – нефтепроводов и газопроводов.

Согласно руководящим документам Ульяновскнефти главная информация, принимаемая для браковки сварных швов – значения амплитуды пучка отраженного сигнала.

Если амплитуда отраженного от границы раздела сигнала превышает заданную величину амплитуды, то считается, что в этом месте имеется дефект. Но введенные последнее время руководящие документы содержат в себе и такой браковочный признак, как суммарная совокупность мелких дефектов на фиксированной длине сварного соединения.

Применение в комплексах дефектоскопии на базе многоканальных систем исследований данного браковочного признака позволяет повысить достоверность результатов контроля и их надежность за счет обработки отраженных сигналов в соответствии с задаваемыми критериями.

Параметры чувствительности ультразвукового контроля задаются в процессе настройке автоматических установок еред началом работы, и задаются согласно стандартов DIN EN 10246-8, ISO 3183, DIN EN 10246-15, API 5L. Перечисленные в указанных стандартах требования к параметрам чувствительности при проведении ультразвукового контроля сварных соединений трубопроводов регламентируют процедурные особенности контроля и технологические параметры настройки режимов работы автоматических дефектоскопов.

Контроль проводится для определения следующих типов дефектов: продольных, поперечных и объёмных дефектов.

•
•

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования выявили, что при ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений, зависимость амплитуда A_d отраженного от дефекта сигнала от расстояния места введения в тело трубы пучка колебаний ультразвука (L) имеет осциллирующий характер и зона контроля вдоль периметра трубы составляет приблизительно 20 мм на уровне $0,8 A_d \max$.

Если положение акустического блока относительно оси сварного шва поддерживается постоянным (в процессе контроля) то расстояние (L_0) зависит от изменения величины угла α и в меньшей степени зависит от изменения температуры окружающей среды, геометрических характеристик трубы и характеристик ее материала.

Проведенные исследования позволили установить, что при ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений изменения величины угла α (ввода пучка колебаний) и параметра L_0 оказывает негативное влияние на точность результатов контроля в случае превышения значения количества отражений пучка более 5. При этом соотношение $A_d/A_d \max$ достигает значений менее 0,8..

Совместно с отделом дефектоскопии Ульяновскнефть разработан алгоритм работы установки автоматизированного контроля и требования, которым установка должна удовлетворять в плане метрологической проверки службами предприятия.

Результаты переданы производителям. Цель достигнута.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алешин Н.П. Физические методы неразрушающего контроля сварных соединений. М.: Машиностроение, 2006. - 368 с.
2. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. - М.: Высшая школа, 1986,- 167 с.
3. Бобров В.Т. Влияние характера дефекта на эффективность ультразвукового контроля при радиочастотной сварке труб // Сварочное производство. 1969. № 6. С. 22 - 24.
4. Богод В.Б., Гурвич А.К. Исследование направленности поля искателя с качающимся ультразвуковым лучом // Дефектоскопия. 1975. № 4. С. 134 - 137.
5. 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 с.: ил.
6. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / Под ред. В. В. Клюева,- М.: Машиностроение, 2003. - 490 с.: ил.
7. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. - М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.
8. Гурвич А.К., Ермолов И.Н. Ультразвуковой контроль сварных швов. - Киев: Техника, 1972. - 460 с.
9. 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.
10. Ермолов И.Н. Наклонный ПЭП - вклад советских ученых в практику и теорию ультразвукового контроля // Дефектоскопия. 1991. № 4. С. 56 - 65.
11. Ермолов И.Н., Рахимов В.Ф. К оценке эквивалентных размеров дефектов наклонными преобразователями // Дефектоскопия. 1989. № 11. С. 44 - 51.
12. Коряченко В.Д., Фак И.И., Ткаченко А.А. Повышение достоверности результатов автоматического УЗ контроля сварных швов труб большого

- диаметра // Материалы IX Всесоюзной научно-технической конференции "Неразрушающие физические методы и средства контроля". - Минск, 1981- с. 115-117.
13. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. -М.: Тиссо, 2003. - 313 с.
 14. Ультразвуковой контроль материалов: Справ, изд. Й. Крауткремер, Г. Крауткремер; пер. с нем.-М.: Металлургия, 1991. - 752 с.
 15. Неразрушающий контроль качества сварных конструкций / Троицкий В.А., Радько В.П., Демидко В.Г., Бобров В.Т. - Киев: Техшка, 1986. - 159 с.
 16. Бобров В.Т., Кондрацкий В.Я. Автоматическая дефектоскопия сварных швов стальных труб. Сб. «Исследования по физике металлов и неразрушающим методам контроля». Изд-во «Наука и техника», Минск, 1968.
 17. Стипура А.П., Загорулько В.С. и др. УЗ контроль качества сварного шва спиральношовных газопроводных труб // Дефектоскопия. 1975. № 4. С. 22 - 27.
 18. Чабуркин В.Ф., Канайкин В.А. Оценка опасности дефектов сварных соединений при диагностике газонефтепроводов.- Сварочное производство. 2000. №9. С. 41-44.
 19. Халилеев П.А., Патраманский Б.В., Лоскутов В.Е. и др. О современном состоянии контроля надёжности магистральных трубопроводов // Дефектоскопия. 2000. № 1.С. 3-17.
 20. Матвеев Ю.М. Теоретические основы производства сварных труб. - М.: Металлургия, 1967. - 169 с.
 21. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений - М.: изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000. - 496 с.
 22. Троицкий В.А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений/ ИЭС им. Е.О. Патона НАЛ Украины. - 1997. - 224 с.

23. Моисеева Н.Н., Шукин В.А., Яблоник Л.М. Ультразвуковой контроль продольных сварных швов цилиндрических изделий // Дефектоскопия. 1978. №4. С. 15-20.
24. Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике: Справочник под ред. Неймарка В.Е., - М.-Л.: Энергия, 1967. - 240 с.
25. Домаркас В.И., Пилецкас Э.Л. Ультразвуковая эхоскопия. - Л.: Машиностроение, 1988. - 276 с.
26. Уткин И.Ю. Роль микролегирующих элементов в формировании механических свойств околошовной зоны при сварке прямошовных труб большого диаметра групп прочности Х70–Х80: диссертация ... кандидата Технические науки: 05.16.01 / Уткин Иван Юрьевич; [Место защиты: Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П.Бардина]. - Москва, 2016.
27. Вронский А.В. Обнаружение продольных дефектов котельных труб в условиях электростанций // Дефектоскопия. 1974. № 1. С. 67 -71.
28. Пасси Г.С. Исследование стабильности акустического контакта при контроле наклонным преобразователем // Дефектоскопия. 1988. № 3. С. 69 - 78.
29. Рахимов В.Ф. О влиянии шероховатости контактных поверхностей на прохождение ультразвуковых колебаний // Дефектоскопия. 1988. № 11. С. 50 - 56.
30. Кирияков В.Ф. О применении пьезопреобразователя с наклонным дном иммерсионной камеры // Дефектоскопия. 1976. № 4. С. 96 - 104.
31. Гурвич А.К. Ультразвуковая дефектоскопия сварных соединений. - Киев: Укртехиздат, 1963. - 152 с.