

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология неразрушающего контроля состояния
магистральных трубопроводов

Студент

В.С. Дрома

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2020

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологии ремонтной сварки магистральных трубопроводов. Объектом исследования является магистральный газопровод диаметром 1024 мм, на котором выполняют обнаружение и исправление дефектов.

В ходе выполнения раздела исполнительного блока были решены следующие задачи: 1) выполнить анализ и обосновать выбор методики диагностики состояния магистрального трубопровода; 2) повысить эффективность диагностики состояния магистрального трубопровода.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 5,3 млн. рублей.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при контроле состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние вопроса	8
1.1 Сведения о состоянии и дефектах магистральных трубопроводов	8
1.2 Сведения о базовом процессе контроля и исправления дефектов трубопровода	11
1.3 Анализ содержания источников научно-технической информации по вопросу диагностики состояния и ремонтной сварки трубопроводов	16
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	18
2 Технология неразрушающего контроля состояния труб	19
2.1 Обзор методов диагностики состояния магистральных трубопроводов	19
2.2 Сущность метода	21
2.3 Виды отражателя на трубопроводе	23
2.4 Чувствительность предлагаемого метода	25
2.5 Представление информации о несплошностях	26
2.6 Методика комплексного контроля трубопровода	29
Заключение по второму разделу	31
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений ...	32
3.1 Технологическая характеристика объекта	32
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений	33
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	34
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	35
3.5 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта	37

3.6 Заключение по разделу	38
4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений	39
4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов . .	39
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	41
4.3 Расчет штучного времени	42
4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки . . .	46
4.6 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам	52
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений	57
Заключение по экономическому разделу	60
Заключение	60
Список используемой литературы	61

Введение

Стабильная поставка энергоресурсов потребителям в Российской Федерации, странах Европы и зависит от состояния (безопасность и надежность) системы магистральных трубопроводов. По имеющимся в настоящее время статистическим данным наблюдается стабильный рост добычи и поставок объемов газа и нефти. Так, к 2020 году планируемый объём добычи газа должен составить 670 млрд м³ [1]. При макроэкономическом планировании следует учитывать тот факт, что существующая сейчас газотранспортная система имеет давнюю историю и создана еще в Советском Союзе. В связи с распадом СССР она претерпела значительные изменения, и поддержание её работоспособности требует привлечения интеллектуальных, финансовых, производственных и политических ресурсов.

Магистральные газопроводы в несколько ниток проходят в настоящее время по территории многих стран, контроль их состояния зависит от зарубежных партнёров, а крупные аварии могут повлечь за собой серьёзные политические последствия. В ближайшее время срок эксплуатации магистральных газопроводов бывшего СССР достигнет 40 лет.

Поддержание состояния магистральных трубопроводов требует постоянного совершенствования методик контроля труб. Для этого применяются современные разработки и достижения в области контроля качества – рентгеновские, ультразвук, тепловые, оптические, различные виды жесткого и мягкого радиационного излучения, вихревые токи, магнитные поля [2].

Магистральный трубопровод является ответственной металлической конструкцией, эксплуатация которой сопровождается возникновением техногенных рисков. Длительная безаварийная эксплуатация магистрального трубопровода в первую очередь зависит от правильности его строительства. Особую опасность представляют участки трубопровода, на которых

допущены различные нарушения технологии укладки и сварки. Эта опасность усугубляется на трубопроводах, проходящих пересечённой, заболоченной и горной местностях. Сварные стыки являются концентраторами остаточных напряжений в зонах термического влияния. Локальные напряжения в металле могут считаться главной причиной образования и развития дефектов коррозионного растрескивания под напряжением [3].

Сварка предполагает нагрев металла до высоких (плавление и кипение) температур. При этом в металле конструкций протекают физико-химические превращения, которые проходят на фоне интенсивных пластических деформаций, которые были вызваны неравномерностью нагрева. В результате пластических деформаций и усадки сварных швов в конструкции возникают существенные поперечные укорочения, которые приводят к получению поля остаточных напряжений. Таким образом, создаются условия для получения трещин в результате сварки трубопровода и его последующей эксплуатации.

Отрицательная роль остаточных сварочных напряжений при эксплуатации магистрального трубопровода проявляется в существенном снижении коррозионной стойкости его конструкции. Под действием растягивающих напряжений формируются концентрации вредных примесей, которые приводят к снижению сопротивления материала знакопеременным нагрузкам [4, 5].

Строительству магистрального трубопровода предшествует тщательная проработка всего проекта, наукоёмкий анализ и построение оптимальной технологии, обоснованный выбор материалов для изготовления. В таких условиях удаётся получить существенное увеличение ресурса трубопровода и срока его безаварийной эксплуатации. Тем не менее, полное устранение негативного воздействия сварки на конструкцию недостижимо. В начальный период эксплуатации трубопровода отрицательное воздействие сварки сказывается незначительно. Продолжительная эксплуатация трубопровода

приводит к необратимым изменениям в материале конструкции, которые уже не могут игнорироваться. В связи с этим на передний план выходят методики обнаружения и идентификации в конструкциях трещин и аналогичных дефектов. Это является особенно актуальным при диагностике и оценке состояния длительно эксплуатируемых конструкций и сооружений [6].

Указать наличие дефектов и их расположение на магистральном трубопроводе достаточно сложно даже с применением самых современных методов трубной диагностики. Вот почему работы в области повышения производительности и достоверности контроля состояния магистральных трубопроводов остаются актуальными.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и достоверности контроля состояния магистральных трубопроводов.

1 Современное состояние вопроса

1.1 Сведения о состоянии и дефектах магистральных трубопроводов

Трубы, которые используются при строительстве магистрального трубопровода, имеют различные дефекты, которые не были выявлены на ранних операциях производства (дефекты в металле листов для формирования труб, дефекты после формирования труб и сварки продольного шва, дефекты после сварки стыков труб). В лучшем случае, эти дефекты являются допустимыми, они всегда присутствуют в трубопроводе в том или ином количестве.

В процессе длительной эксплуатации трубопровода в нём начинают развиваться многочисленные врожденные дефекты, протекают усталостные и электрохимические процессы, стресс-коррозия, происходит деградация материала.

Исследование результатов расследования аварий, которые произошли на магистральных трубопроводах, позволяет указать их основные причины (рис. 1.1) [7].

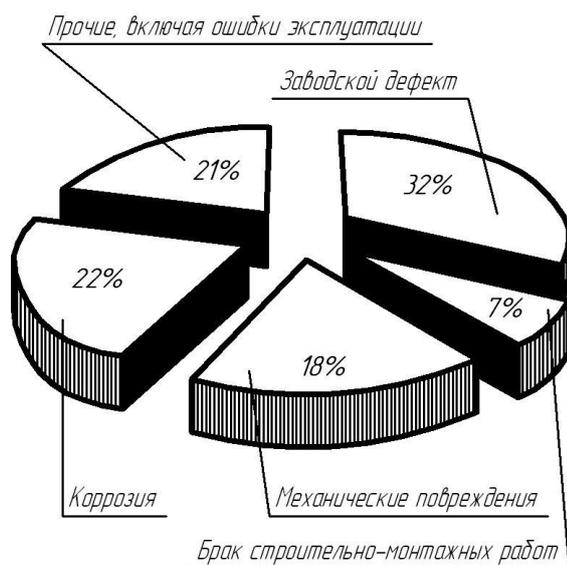


Рисунок 1.1 – Причины аварий на магистральных трубопроводах [7]

На основании проведённого анализа могут быть сформулированы 8 факторов, ответственных за возникновение аварийных ситуаций: дефекты труб и сварных швов, качество производства вспомогательных работ, конструктивно-технологические факторы, качество производства строительно-монтажных работ, коррозия, внешние антропогенные воздействия, природные воздействия (рис. 1.2).

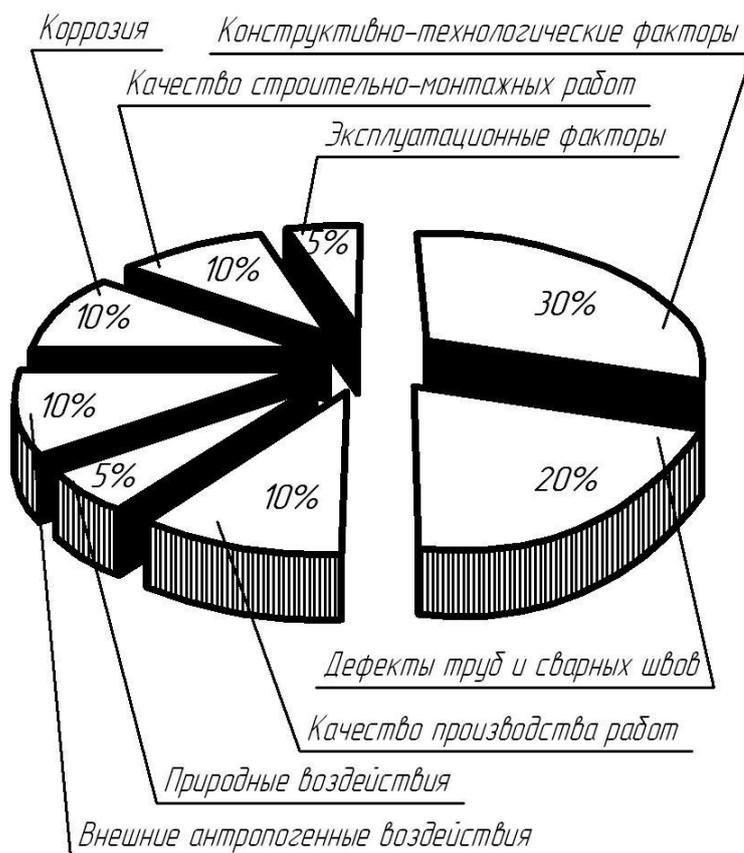


Рисунок 1.2 – Факторы, ответственные за возникновение аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах

Имеющиеся в наличии данные о результатах контроля состояния магистральных трубопроводов диаметром 1420 мм позволяют судить о достаточно высоком уровне дефектов, которые не могут быть игнорированы. При выявлении и анализе дефектов трубопровода было изучено состояние трубопровода на 28 участках Западной Сибири на шести параллельных ветках большой протяжённости. Составлена схема расположения на нём таких повреждений, как общая и местная коррозия; дефекты коррозионного растрескивания под напряжением; дефекты сварки стыков. Изучаемые

участки магистрального трубопровода (от одной компрессорной станции до другой) имеют среднюю длину 100 км [8].

На магистральных трубопроводах Западной Сибири практически на всех участках обнаружены многочисленные дефекты коррозионного растрескивания под напряжением. Количество дефектов увеличивается со временем несмотря на выполняемое своевременное устранение выявленных дефектов. Обнаружение новых дефектов коррозионного растрескивания под напряжением происходит там, где раньше их не было. На участках трубопровода, где дефекты были обнаружены и устранены, они возникают вновь. При этом обнаружено, что на параллельных нитках трубопровода возникает разное количество дефектов на одном и том же участке.

Сварка магистральных трубопроводов приводит к неблагоприятным изменениям в металле их конструкции и усиливает отрицательное влияние окружающей среды. Негативное воздействие термомодеформационного цикла при сварке на основной металл усиливает процессы формирования и развития коррозионного растрескивания под напряжением.

Безопасная эксплуатация магистрального трубопровода возможна при условии, что возникающие в его конструкции дефекты не прогрессируют до сквозных трещин. При этом установлено, что благоприятной средой для зарождения растрескивания является корневой слой шва и присутствующие в нём плоскостные дефекты (трещины, непровары и подрезы)

В числе самых распространённых и опасных дефектов при сварке стыков магистральных трубопроводов следует отметить непровар корня шва, который часто наблюдается со смещением кромок. Такие дефекты часто возникают при сварке, и исключить их появление в настоящий момент не представляется возможным [9, 10].

1.2 Сведения о базовом процессе контроля и исправления дефектов трубопровода

Ремонт дефектных участков магистрального трубопровода может быть выполнен с применением следующих методов: шлифовкой, вырезкой, заваркой, установкой ремонтной конструкции.

Исправление дефектов заваркой выполняется при дефекте стенки трубы типа «потеря металла», при этом остаточная толщина стенки трубы должна составлять не менее 5 мм. Также заварка может быть применена для исправления дефектов аномалий поперечного сварного шва (подрезы, выходящие на поверхность поры, недостаточная ширина шва и т.д.). Исправление дефекта методом заварки может быть выполнено, если глубина и максимальный линейный размер одиночного дефекта превышает допустимых значений. Расстояние от исправляемого дефекта до продольного шва трубы должно быть не менее 100 мм, расстояние между двумя соседними дефектами не должно быть менее 100 мм.

Ремонтная сварка магистрального трубопровода выполняется электродами с основным видом покрытия типа Э50А и Э60.

Входной контроль электродов, выполняемый перед началом сварочных работ, должен включать проверку: наличия и правильности заполнения сертификатов соответствия на электроды; сохранности упаковки электродов; внешнего вида сварочных электродов (покрытие должно прочно держаться на электродном стержне, на покрытии должны отсутствовать дефекты, на электродных стержнях не должно быть ржавчины).

Наплавочные слои выполняются используют электродами типа Э50А, диаметр которых может быть 2,5; 2,6; 3,0 и 3,2 мм. Облицовочные слои выполняются электродами типа Э60, диаметр которых может быть 3,0; 3,2 и 4,0 мм.

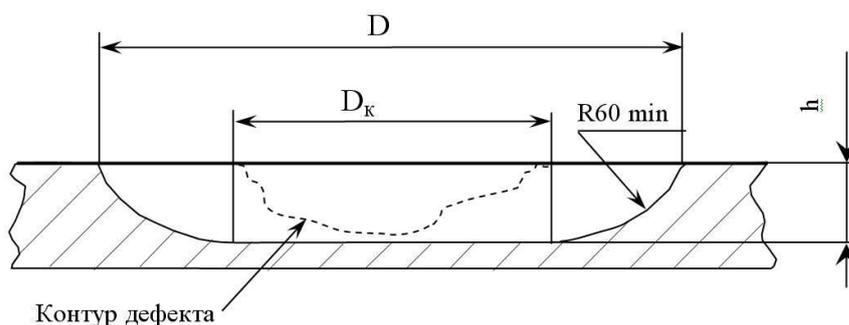
Перед ремонтной заваркой дефекта требуется выполнение подготовительных операций: с использованием ветоши очищают место

повреждения от снега, грязи и пыли; на рабочей площадке размещают технологическое оборудование и материалы в необходимом количестве (не допуская «затаривания»); подготавливают к ремонтной сварке сварочные электроды.

При очистке поверхности трубопровода следует удалить старую изоляцию, грязь, ржавчину, пыль, землю и наледь. После этого поверхность трубопровода следует обезжирить, удалить на неё острые выступы, задиры и заусенцы, осушить.

Механической обработкой с использованием шаблонов выполняют выборку дефектного участка (рис. 1.3), при этом продукты коррозии и слой дефектного металла удаляют, заглубляясь в здоровый металл не менее 1 мм. Выборку дефектного места выполняют радиальной шлифовальной машиной ИП-2014 (рис. 1.4). Форма выборки должна быть овальной. Дно выборки должно быть гладким, а радиусы перехода к поверхности трубы должны быть не менее 60 мм.

После выполнения выборки следует проконтролировать остаточную толщину стенки с использованием ультразвукового толщиномера А1208 (рис. 1.5). После этого необходимо выполнить капиллярный и ультразвуковой контроль для обнаружения наружных и внутренних дефектов.



D_k – размер удаляемого дефекта, мм; D – размер выборки, мм; h – глубина выборки, мм

Рисунок 1.3 – Выборка под заварку коррозионного или механического повреждения на поверхности трубопровода



Рисунок 1.4 – Радиальная шлифовальная машина ИП-2014



Рисунок 1.5 – Ультразвуковой толщиномер А1208

Перед заправлением выборки следует предварительно подогреть место сварки до температуры 100...130 °С. Для предварительного подогрева используют пропанобутановые горелки. Подогреваемая зона должна быть шириной не менее 80 мм в каждую сторону от выборки. На расстоянии 15 мм от выборки с использованием прижимной термопары контролируют температуру подогрева.

При заправлении выборки каждый слой шва заваривают узкими валиками. Сначала выполняют первый слой, потом выполняют заполняющие слои, далее выполняют контурный шов, после чего выполняют облицовочный слой (рис. 1.6). Всего должно быть выполнено не менее трёх слоев (не считая контурного шва).

Первый слой выполняют параллельными валиками, направленными в поперечном направлении относительно оси трубы. Второй и последующие чётные слои накладывают в продольном направлении относительно оси

трубы (рис. 1.7). Сварку осуществляют «на подъем», ширина параллельных валиков не более 10 мм, перекрытие валиков не менее 3 мм. У каждого шва необходимо тщательно заплавлять кратер и выводить его на шов, зачищать его шлифмашинкой.

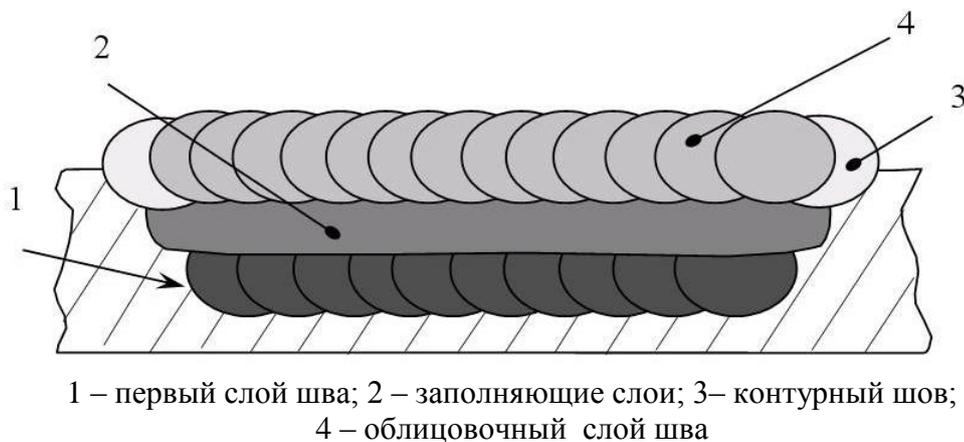


Рисунок 1.6 – Заварка выборки по слоям шва при выполнении ремонта коррозионных и механических повреждений трубопровода

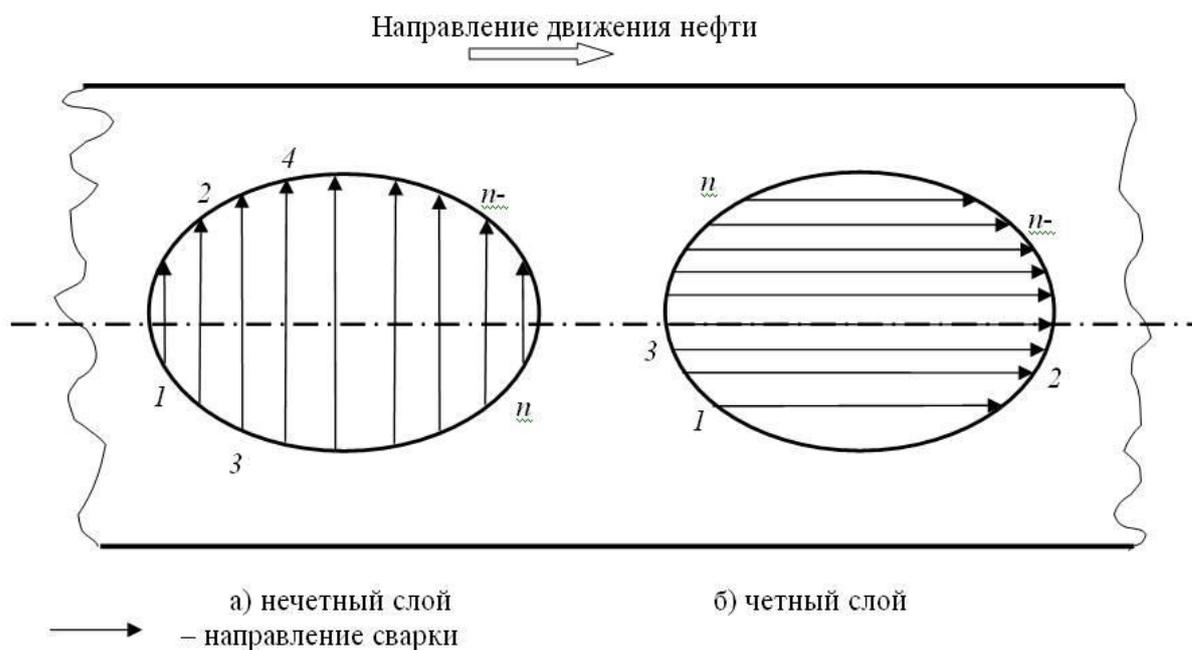


Рисунок 1.7 – Наложение валиков четных и нечетных слоев шва

Значения параметров режима ремонтной сварки слоев шва приведены в табл. 1.1, сварку выполняют током обратной полярности, короткой дугой, с поперечными колебаниями электрода. Заваривание кратера проводят без остановки процесса сварки.

Таблица 1.1 – Значения параметров режима сварки

Наименование слоя шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, мм/с
Первый слой	3,0; 3,2 (2,5; 2,6)	90 – 100 (70 – 80)	1,40 – 1,50 (1,25 – 1,40)
Заполняющие слои	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50
Контурный шов	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50
Облицовочный, слой	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50

Ширина валиков должны быть не более 10 мм, перекрытие валиков должно быть не более 3 мм. Контурный шов выполняют после сварки всех заполняющих слоёв, но до выполнения облицовочного слоя. Сварку контурного шва выполняют с поперечными колебаниями электрода, которые перпендикулярны относительно граничной линии выборки. Контурный шов должен иметь плавный переход к основному металлу и его ширина должна быть 8...12 мм. При выполнении контурного шва недопустимы подрезы на основном металле трубы.

Металл сварного шва должен иметь мелкую чешуйчатость. Превышение гребня над впадиной должно быть не более 1 мм. Облицовочный слой шва не должен выходить за пределы контурного шва на основной металл трубы. После выполнения облицовочного слоя необходимо обработать шов шлифовальным кругом, добиваясь гладкой формы поверхности и высоту усиления 1,0...1,5 мм (рис. 1.8). Доводку поверхности шва выполняют напильником или дисковой металлической щеткой, шероховатость поверхности не более Rz 40.

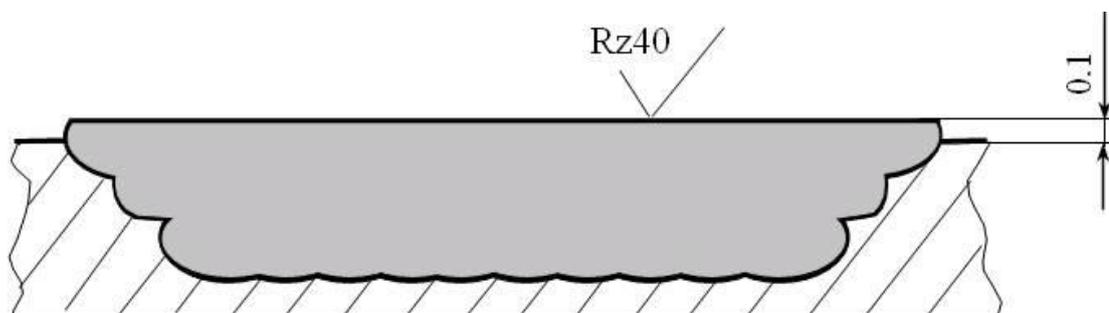


Рисунок 1.8 – Заварка выборки после механической обработки

После ремонтной сварки выполняют визуально-измерительный контроль; ультразвуковой контроль; контроль проникающими веществами.

Поверхностные дефекты и дефекты, выходящие на поверхность (трещины, свищи, несплавления, подрезы, незаваренные кратеры), выявляются при помощи визуально-измерительного контроля и контроля проникающими веществами. Внутренние дефекты (трещины, расслоения, непровары, несплавления, подрезы корневого слоя шва, одиночные поры и сетки пор, шлаковые включения) выявляются ультразвуковым контролем.

Проведение контроля проникающими веществами и ультразвукового контроля должно осуществляться после визуального-измерительного контроля при условии отсутствия обнаруженных дефектов.

Визуально-измерительный контроль должен проводиться на участке, превышающем размеры места ремонтной заварки в каждую сторону не менее чем на 100 мм.

При контроле проникающими веществами и ультразвуковом контроле границы контролируемого участка в обе стороны от границы ремонтной заварки должны быть не ближе 50 мм.

1.3 Анализ содержания источников научно-технической информации по вопросу диагностики состояния и ремонтной сварки трубопроводов

Для поиска достоверной и актуальной информации по вопросу диагностики состояния и ремонта магистральных трубопроводов была использована сеть ИНТЕРНЕТ. Поиск источников научно-технической информации вели по ключевым словам «магистральный трубопровод», «обнаружение дефектов», «контроль качества» «диссертация», «научная статья», «авторское свидетельство», «патент».

Первая работа [6] посвящена методикам диагностики состояния сварных конструкций при длительной эксплуатации. Представлены сведения

о преимуществах и недостатках каждой методики. Предложена методика диагностики состояния металлических конструкций с использованием акустической эмиссии, которая позволяет прогнозировать величину разрушающей нагрузки и остаточный ресурс конструкции при её длительной эксплуатации.

Вторая работа [11] описывает методику математического моделирования многопроходной ремонтной наплавки магистральных трубопроводов при исправлении дефектов утонения стенки. Результаты работы позволяют прогнозировать технологическую прочность и остаточный ресурс после ремонта магистрального трубопровода. Предложена методика позволяющая моделировать состояние металлической конструкции, близкое к предельному, что может быть использовано при оценке несущей способности трубопровода после выборки обнаруженных дефектов несплошности. Выполнено исследование зависимости прочности конструкции и её ресурса от особенностей основных параметров наплавки на примере многопроходной ремонтной наплавки.

Третья работа [12] посвящена разработке методики расчетного определения остаточного ресурса магистрального трубопровода. При этом учитывается наличие поверхностных дефектов. На основании полученных результатов подтверждена адекватность предлагаемой методики расчётной оценки остаточного ресурса магистрального трубопровода с коррозионными повреждениями.

Четвёртая работа [13] доказала возможность исправления дефектов язвенной коррозии магистрального трубопровода без его остановки. Рассмотрены дефекты диаметром 12...20 мм на стенке трубы из стали 17Г1С. В работе представлена методика назначения параметров режима ремонтной сварки, которые исключают прожог и разрушение в зоне сварки.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и достоверности контроля состояния магистральных трубопроводов.

Объектом исследования является магистральный газопровод диаметром 1024 мм, на котором выполняют обнаружение и исправление дефектов. Технология ремонтной сварки предусматривает использование ручной дуговой сварки штучными электродами. При этом выполняются следующие операции: зачищают дефектный участок трубопровода, выполняют предварительный подогрев, выполняют механическую выборку дефекта, заправляют выборку, выполняют механическую обработку сварного шва, контролируют качество ремонтной сварки.

Поставленная цель будет достигнута при условии решения следующих задач:

- 1) выполнить анализ и обосновать выбор методики диагностики состояния магистрального трубопровода;
- 2) повысить эффективность диагностики состояния магистрального трубопровода;
- 3) выполнить оценку безопасности и экологичности предложенных технических решений;
- 3) доказать экономическую эффективность внедрения в производство предложенных технических решений.

2 Технология неразрушающего контроля состояния труб

2.1 Обзор методов диагностики состояния магистральных трубопроводов

Безопасная эксплуатация магистральных трубопроводов предусматривает проведение комплекса мероприятий по неразрушающему контролю (диагностике их состояния), прогнозированию их остаточного ресурса с учетом обнаруженных эксплуатационных повреждений, а также ремонтно-восстановительных работ при обнаружении дефектности недопустимого уровня. Внешние поверхностные дефекты являются самыми распространенными дефектами магистральных трубопроводов - это локальные потери металла коррозионной природы, которые получаются вследствие действия агрессивной внешней среды на участке локального нарушения целостности изоляционного покрытия трубы. Так как магистральные трубопроводы имеют существенную протяженность, проведение обнаружения и устранения дефектов проведением капитального ремонта обладают высокой трудоёмкостью и ресурсоёмкостью. [1, 2, 14, 15].

Количество дефектов, обнаруживаемых только при внутритрубной диагностике линейных участков трубопроводов, может исчисляться сотнями на 1 км [16]. Одновременное их устранение является чрезмерно трудоемкой задачей и не является целесообразным. За дефектными зонами надо следить. Современные методы расчетов оценки предельного состояния трубных конструкций с утонениями, трещинами, измеренными геометрическими аномалиями позволяют с высокой достоверностью прогнозировать их остаточную прочность, определять критические размеры дефектов, требующих немедленного устранения, или умеренные, не требующие немедленного устранения. Точность таких расчетов зависит от особенностей конкретного участка, возраста и сопротивляемости различным видам

разрушения. Поэтому всем обнаруженным дефектам должна быть дана предварительная оценка и установлена очередность их устранения.

Для магистральных трубопроводов используется много непрерывно совершенствующихся видов диагностики, число которых непрерывно увеличивается. Наиболее распространенными из них являются: внутритрубная [17, 18] магнитная (акустическая); низкочастотная [19] ультразвуковая; коэрцитивно-метрическая; магнитометрическая [20] на основе магнитной памяти; акустоэмиссионная; тензометрическая; термографическая [18, 19], визуально-оптическая и пр.

Существенный прогресс в развитии методик дистанционного контроля состояния протяженных трубопроводов достигнут за счет методики дальнего действия низкочастотного ультразвукового контроля направленными волнами (НЧ УЗК). Эта методика позволяет успешно решать задачу диагностики технического состояния трубопроводов и обнаружения дефектов уже в начальной стадии зарождения.

Вследствие увеличения объемов транспортируемых продуктов актуальность адаптации этого метода применительно к магистральным трубопроводам большого диаметра будет расти. Основным преимуществом низкочастотного ультразвукового контроля является способность этого метода выполнить контроль состояния 100 стенок труб на всей протяженности диагностируемого участка [16].

На рис. 2.1 представлена диагностика магистрального трубопровода с помощью дальнего действия низкочастотного ультразвукового контроля направленными волнами [19, 21]. Применение данного метода на новых трубопроводах позволяет получить достоверную информацию о качестве выполнения большого числа кольцевых стыков на исследуемом участке в нескольких километрах. Применение данного метода на эксплуатируемом трубопроводе позволяет получить информацию о величине износа его труб.



Рисунок 2.1 – Низкочастотная ультразвуковая диагностика магистрального трубопровода

Положительный опыт применения диагностики с помощью дальнедействующего низкочастотного ультразвукового контроля направленными волнами описан в работе [21]. С применением указанной методики был использован участок трубопровода длиной 74 км. При помощи данной методики обнаружены 1345 дефектов с утонением стенки трубы более 20 %, размеры которых впоследствии уточняли УЗ-толщиномерами. При этом количество недопустимых дефектов составило 263, в них толщина стенки была меньше браковочного уровня. Было также обнаружено 230 дефектов утонения, в которых толщина стенки была близка к отбраковочному значению (плюс 0,5 мм).

2.2 Сущность метода

В основе методики дальнедействующего ультразвукового контроля лежат свойства направленных звуковых волн, распространяющихся на значительные расстояния от точки крепления датчика [22]. Благодаря этому становится возможным обнаружение коррозионных поражений трубы при помощи эхо-сигналов. Под термином «направленная волна» подразумевается распространяемая вдоль трубы волна, имеющая высокочастотную моду. Поскольку при распространении такой волны ей энергия концентрируется

между нижней и верхней поверхностями трубы, она будет обладать малым затуханием.

Неразрушающий контроль направленными волнами использует способность таких волн передаваться на значительные расстояния, поэтому длина контролируемого участка трубопровода может достигать нескольких десятков метров. Производительность дальнедействующего ультразвукового контроля направленными волнами существенно выше производительности контроля с применением традиционных методов, а стоимость намного ниже.

Дальнедействующий ультразвуковой контроль трубопроводов принципиально отличаются традиционных методов неразрушающего контроля. Традиционные методы (ультразвуковой, вихрековой, цифровая радиография и т. д.), позволяют осуществлять контроль на участках небольшой площади, которые находятся непосредственно под преобразователем, их площадь составляет несколько квадратных сантиметров (рис. 2.2, а). Дальнедействующий ультразвуковой контроль позволяет охватить участок трубы длиной в несколько десятков метров (рис. 2.2, б), причём, контролируемые участки конструкции могут находиться под землёй и иметь защитное покрытие. Возбуждение направленной волны происходит от пьезо- или электромагнитных преобразователей, которые закреплены по периметру трубы в виде кольца.

Используемая при контроле направленная волна может быть как продольной, так и крутильной. Частота пакетных сигналов составляет от 20 до 100 кГц. Ультразвук отражается от несплошностей и поступает обратно на кольцо преобразователей. Местоположение дефекта в трубе определяется по времени прохождения волны от кольца к дефекту и обратно, при этом точность обнаружения места дефектного участка составляет приблизительно ± 100 мм. Сварной стык труб являются симметричным отражателем сигнала, поэтому отражённые от него волны, поступающие к кольцу преобразователей, тоже будут симметричны. Коррозионные поражения являются асимметричными отражателями, поэтому при отражении от них

звуковая волна конвертируется, по этому признаку они могут быть обнаружены. С высокой степенью достоверности могут быть определены дефекты с поперечником от 10 % от толщины стенки трубы.

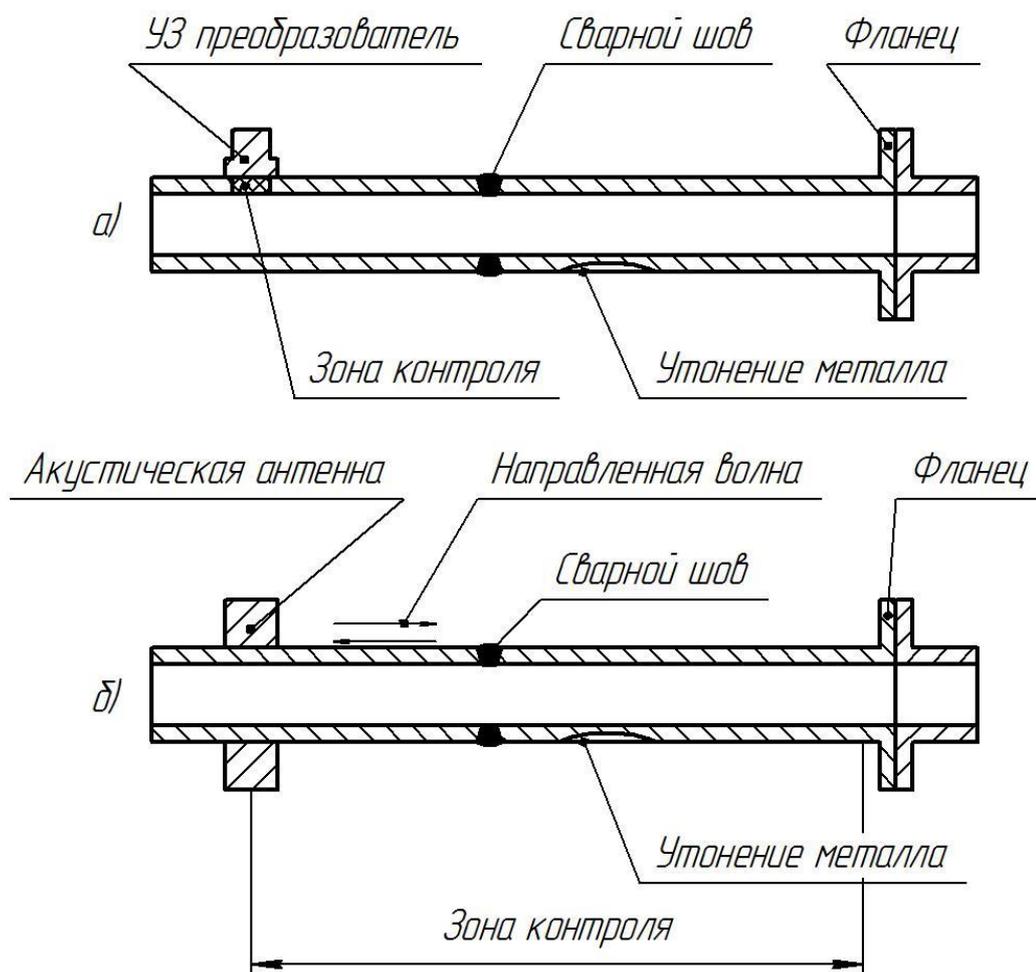


Рисунок 2.2 – Схема контроля трубопровода традиционными методами (а) и методом дальнего УЗК направленными волнами (б)

2.3 Виды отражателя на трубопроводе

По всей длине магистрального трубопровода располагаются различные несплошности, которые получаются из-за изменения плотности материала и поперечного сечения стенок труб. При распространении ультразвуковой волны вдоль оси трубы волна начинает отражаться от этих несплошностей. Классификация видов отражателей и их возможное расположение на трубе приведены на рис. 2.3.

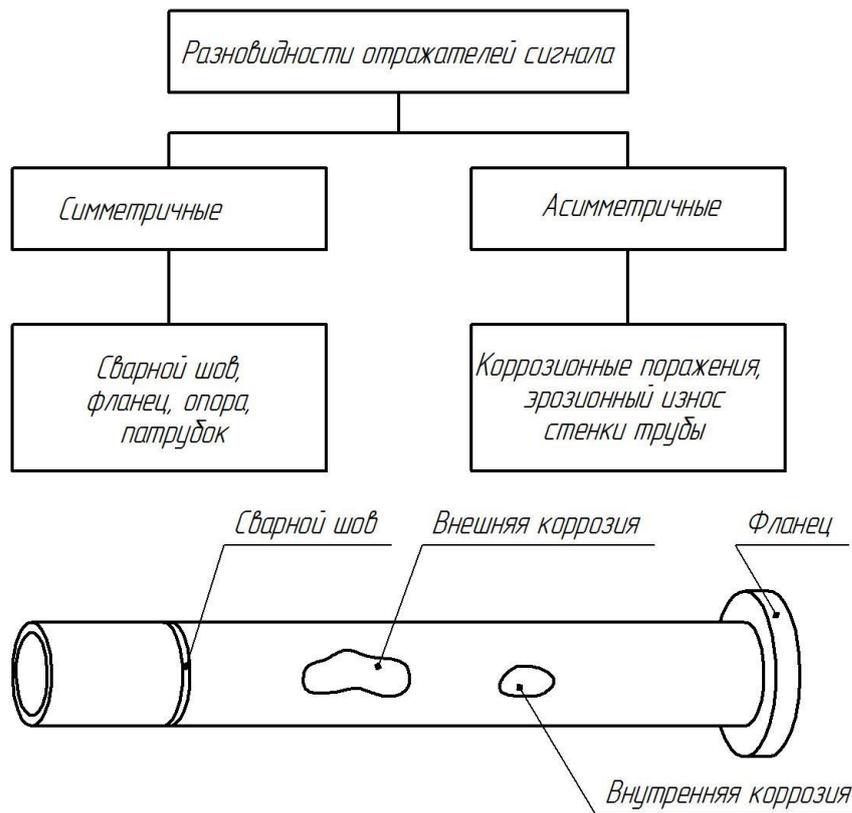


Рисунок 2.3 – Классификация видов отражателей в трубопроводе (а) и схема их возможного размещения на трубе (б)

Отражатели сигнала, расположенные на теле трубы, могут быть разделены на два вида: симметричные и асимметричные. Симметричными отражателями являются относятся фланцы, сварные швы, патрубки, опоры. Положение этих отражателей на трубопроводе известно и соответствует технической документации. Получаемые от этих отражателей сигналы являются важными метками, которые служат для выявления местоположения асимметричных отражателей. Асимметричными отражателям являются различные дефекты на трубе. Чаще всего такие отражатели возникают, когда поперечное сечение стенки трубы повреждается в результате коррозии эрозионного износа. Расположение асимметричных отражателей на трубе может быть различным. Идентификацию их положения на трубе выполняют при помощи эхо-сигналов от симметричных отражателей. Если присквывают дефекты в самом сварном шве, то сигнал от них будет совпадать с эхо-сигналом от соответствующего симметричного отражателя.

2.4 Чувствительность предлагаемого метода

Амплитуда отраженного эхо-сигнала от дефекта соответствует величине уменьшения поперечного сечения трубы и зависит от размера дефекта. Если размер дефекта увеличивается, это приводит к увеличению (ширины) соответствующего ему эхо-сигнала. Таким образом, по форме принимаемого отраженного сигнала можно достоверно судить о наличии повреждений и их величине.

На рис. 2.4 приведена зависимость между амплитудой отраженного сигнала и площадью дефекта, выраженной в виде относительного уменьшения площади поперечного сечения трубы. Показанная зависимость (рис. 2.4) наглядно демонстрирует, при величине дефекта в диапазоне от 10 до 50 % сечения трубы чувствительность изменяется достаточно плавно. При величине дефекта в диапазоне от 3 до 9 % толщины стенки трубы чувствительность метода проявляется сильнее.

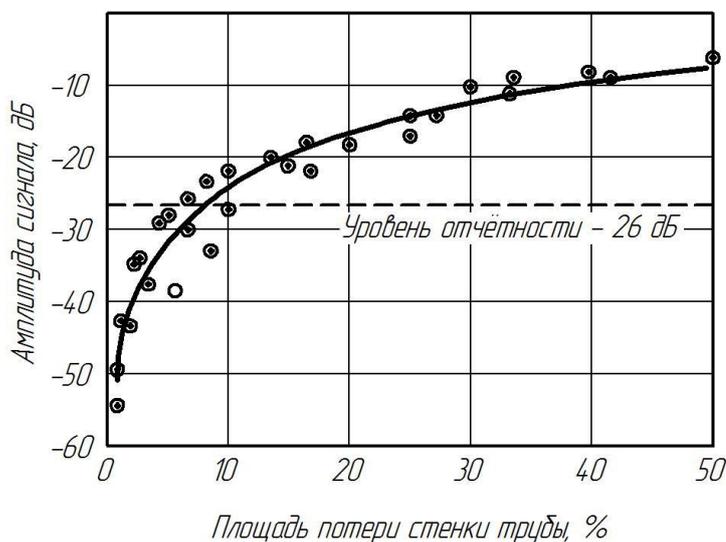


Рисунок 2.4 – Зависимость амплитуды отраженного сигнала от площади потерь металла (кружочки — отражения от дефектов; кривая — наилучшая сходимость зависимости)

В более ранних работах [23, 24] подтверждена возможность обнаружения потери металла порядка 3 % от толщины стенки трубы при помощи длинноволнового ультразвукового контроля. Исходя из этого в

системе Teletest протоколируемый уровень отраженного эхо-сигнала установлен на уровне дефекта, соответствующего потере 9 % от площади поперечного сечения трубы. В случае, если обнаруживаются дефекты с меньшей амплитудой сигнала, они принимаются малыми (незначительными).

2.5 Представление информации о несплошностях

Приведенные выше результаты практических исследований чувствительности НЧ направленных волн при отражении от различных дефектов были использованы как база для создания технологии Teletest [25]. Teletest – это технология дистанционного НК, которая представляет собой эхо-импульсную систему для контроля больших объемов материала из одной точки установки преобразователей. Направленные волны, отраженные от дефекта, принимаются пьезопреобразователями и после усиления, обработки и подавления помех выводятся на экран персонального компьютера как выпрямленные сигналы в виде А-scan зависимости амплитуды от расстояния, подобно используемым при обычном ультразвуковом контроле, но во временном диапазоне измерения, соответствующем десяткам метров, а не сантиметров.

На рис. 2.5 приведен формат дисплея системы Teletest [25] для трубы длиной 36 м, который подобен дисплею обычного УЗК. По горизонтали – расстояние от преобразователей или начала отсчета, по вертикали – амплитуда отраженного сигнала. Дисплей А-scan используется оператором для интерпретации результатов контроля. На А-scan системы Teletest выведены четыре кривые корректировки «расстояние – амплитуда».

Кривая 1 (0 дБ) – Конец трубы или фланец играет роль почти идеального отражателя. Это можно продемонстрировать на единичном отрезке трубы в лаборатории и использовать для установки абсолютной стандартной чувствительности. Эту эталонную величину обычно называют «отражатель 0 дБ».

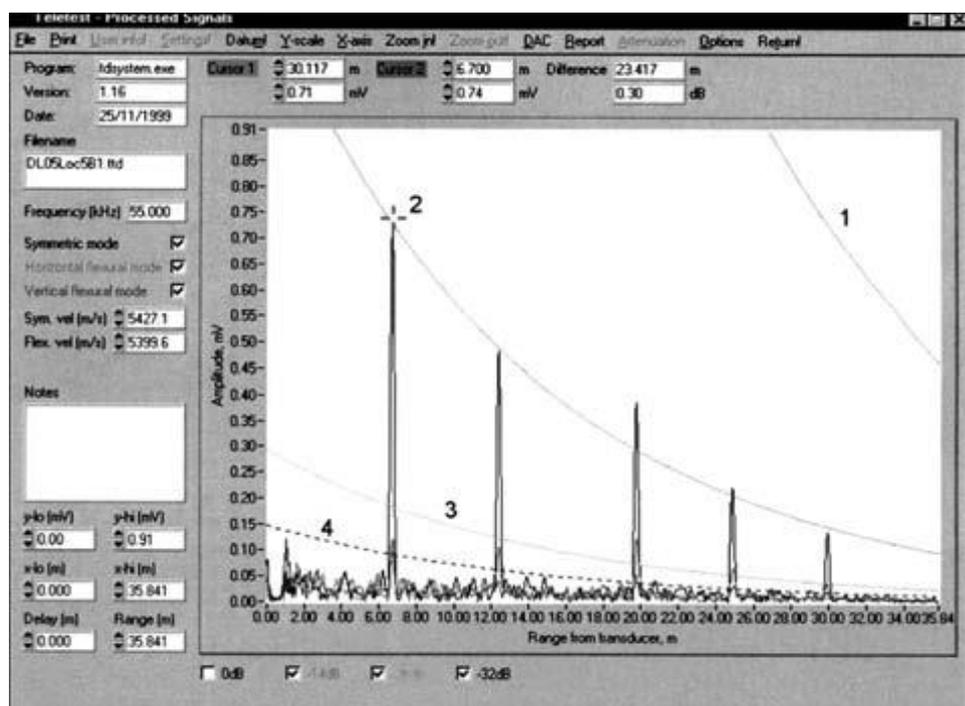


Рисунок 2.5 – Формат дисплея А-scan системы Teletest для трубы длиной 36 м

Кривая 2 (–14 дБ) – Сигналы от кольцевых сварных швов на трубе, которые постепенно затухают с расстоянием, образуют идеальные отражатели для задания кривой корректировки. Опыт использования системы Teletest показывает, что кольцевой шов с обычным профилем верхнего и корневого прохода имеет отражательную способность, эквивалентную до 20 % (–14 дБ) сигнала от конца трубы.

Кривая 3 (–26 дБ) – Явление потери металла с площадью поперечного сечения, эквивалентной до 9 % поперечного сечения стенки трубы имеет отражательную способность, эквивалентную до 5 % (–26 дБ) отражения от конца трубы. Этот пороговый уровень, видимый на А-scan в качестве кривой 3, используется для определения аномалий. Аномалии, которые дают сигналы, близкие, но не превышающие кривую –26 дБ, обычно рассматриваются как незначительные, превышающие кривую –26 дБ, описываются как умеренные, значительно превышающие кривую –26 дБ (настолько, что они достигают линии –14 дБ), рассматриваются как серьезные;

Кривая 4 (-32дБ) – Кривая 4 используется как детерминанта эффективного диапазона тестирования. Это позволяет выявляемой аномалии (-26 дБ) иметь коэффициент сигнал-шум 6 дБ или лучше. Такой уровень отношения сигнала к шуму необходим для эффективной интерпретации данных теста и практически играет роль предела как диапазона тестирования, так и чувствительности к меньшим аномалиям.

На дисплее ниже уровня -26 дБ записаны наложенные друг на друга три кривые, принцип образования которых при отражении направленной волны от симметричных и асимметричных отражателей приведен на рис. 2.7.

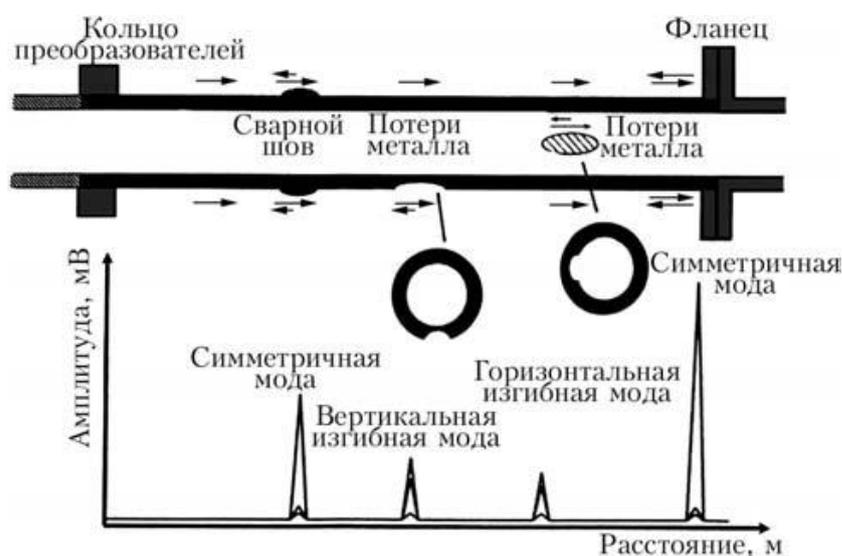


Рисунок 2.6 – Принцип отражения направленной волны от симметричных и асимметричных отражателей

Наличие уровней амплитуд (выше 9 %) мод конвертированных сигналов означает наличие дефектов и является главным фактором процесса их интерпретации в протяженных трубопроводах. Для интерпретации дефектов по отраженным эхо-сигналам оператор выбирает соответствующие сигналы на экране A-scan при помощи курсора. Программа автоматически измеряет пик сигнала как значение выше или ниже кривой корректировки – 26 дБ и расстояние до переднего края эхо-сигнала от центра линии преобразователей.

2.6 Методика комплексного контроля трубопровода

На практике нет прямой корреляции между площадью коррозионного поражения участка трубы и утонением её стенки. Характер отражения звуковой волны, направленной на такой дефект, зависит как от площади поперечного сечения, так и от глубины поражения стенки трубы. В связи с этим, получаемая информация о наличии и величине дефекта, носит, скорее качественный характер, чем количественный. Т.е., мы можем достоверно указать наличие дефекта и его расположение по длине исследуемого участка, а глубина дефекта достоверно определена быть не может. Информацию о величине дефекта дают другие средства измерения, например, ультразвуковая толщинометрия. Алгоритм оценки положения дефекта и его величины приведён на рис. 2.7.

Положение коррозионного поражения на стенке трубопровода определяется при помощи длинноволнового ультразвукового контроля, далее при помощи ультразвукового толщиномера определяют глубину утонения стенки для данного дефекта. Амплитуда отражённого сигнала при длинноволновом ультразвуковом контроле позволяет судить о наличии коррозионного поражения и степени этого поражения. Эта оценка является качественной. Количественная оценка глубины поражения, измеряемая в мм, выполняется другими средствами.

С учётом вышеизложенного предлагается набор методик по диагностике состояния магистральных трубопроводов, как вновь построенных, так и давно эксплуатируемых (рис. 2.8). После того, как в процессе дальнего ультразвукового контроля на исследуемом участке трубы были обнаружены коррозионные дефекты, положение которых и величина уточняются с применением ультразвукового толщиномера или иных методик контроля (радиографический, вихретоковой). Далее задают точки, в которых следует продолжать

наблюдение в течение всей эксплуатации трубопровода, наблюдая развитие дефекта и устраняя его при приближении к пороговому значению.

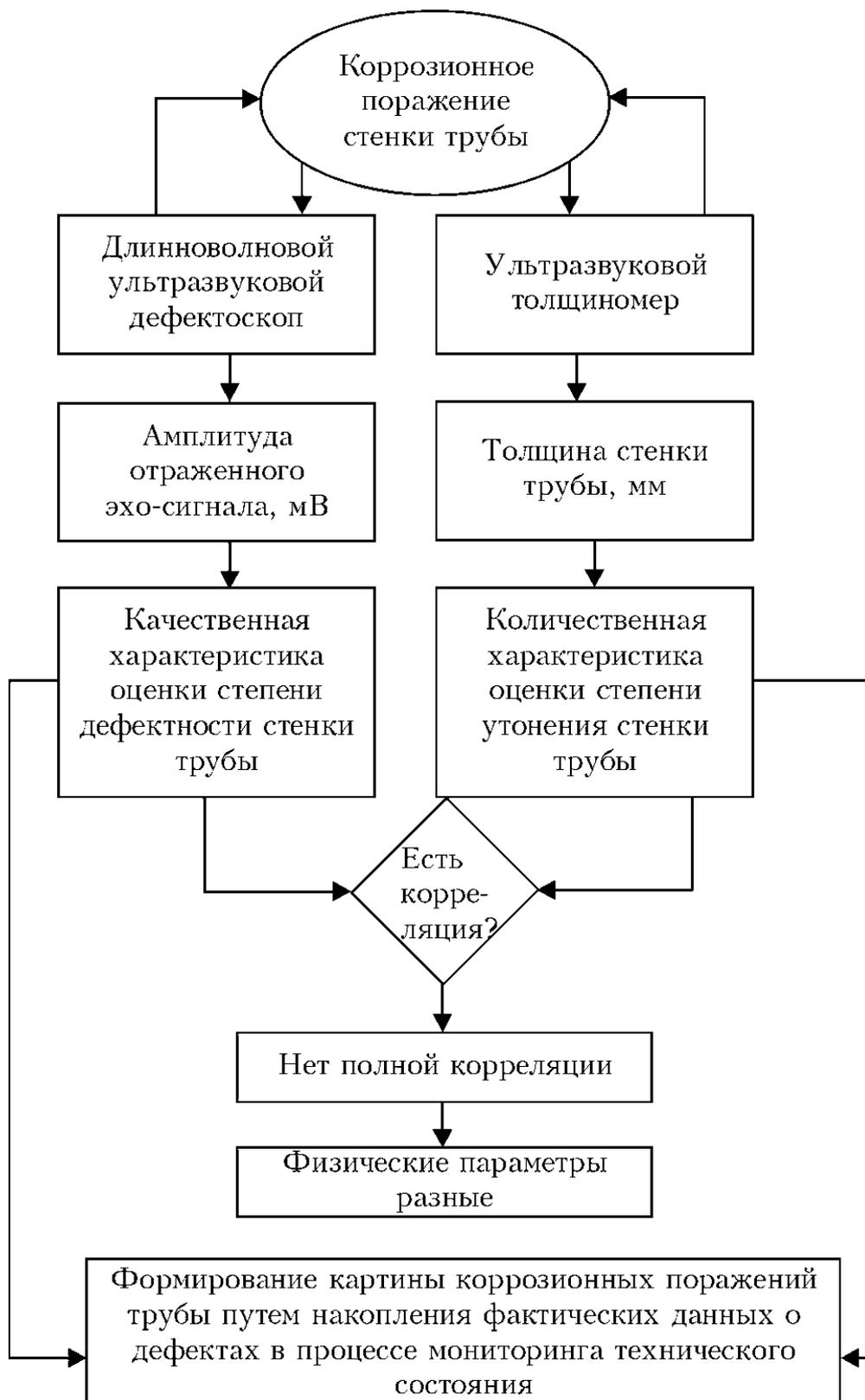


Рисунок 2.7 – Схема алгоритма оценки степени дефектности и утонения поперечного сечения трубы

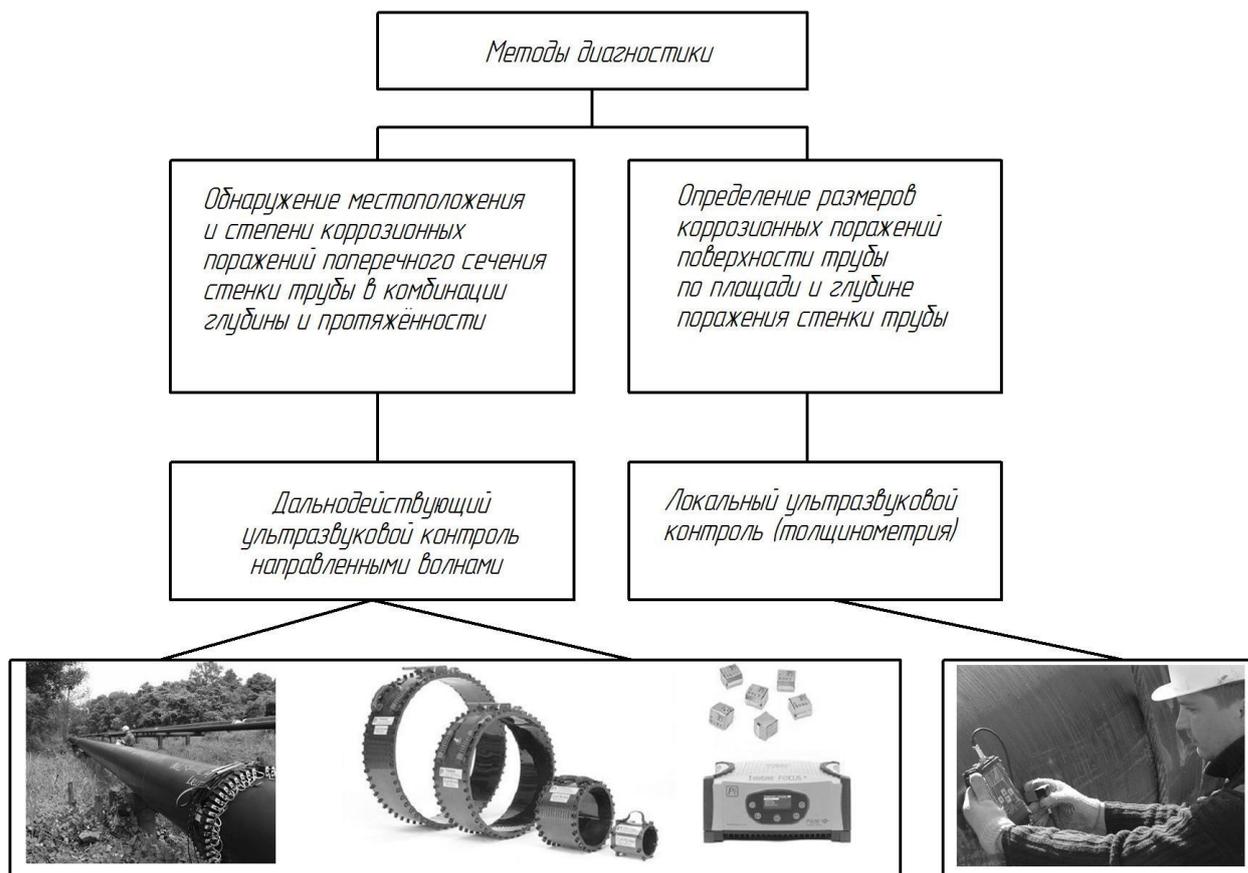


Рисунок 2.8 – Комплексные методы диагностики и контроля технического состояния трубопроводов

Заключение по второму разделу

При выполнении исполнительского раздела выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи: 1) выполнить анализ и обосновать выбор методики диагностики состояния магистрального трубопровода; 2) повысить эффективность диагностики состояния магистрального трубопровода.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает следующие действия: 1) выполнить оценку безопасности и экологичности предложенных технических решений; 2) доказать экономическую эффективность внедрения в производство предложенных технических решений.

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности контроля состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Технология ремонтной сварки предусматривает использование ручной дуговой сварки штучными электродами. При этом выполняются следующие операции: зачищают дефектный участок трубопровода, выполняют предварительный подогрев, выполняют механическую выборку дефекта, заправляют выборку, выполняют механическую обработку сварного шва, контролируют качество ремонтной сварки.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1	2	3	4
1. Подготовительная операция	Слесарь-сборщик	Машинка радиальная шлифовальная	Круг абразивный
2. Проведение предварительного подогрева	Электросварщик	Резак газопламенный	Смесь пропан-бутановая
3. Осуществление сварки на трубопроводе	Электросварщик	Источник питания сварочной дуги	Электроды LB-62

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
4. Проведение зачистки сварного шва	Слесарь-сборщик	машинка шлифовальная, зубило, молоток	Абразивный круг
5. Проведение контроля качества сварных стыков труб	Дефектоскопист	Ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i	-

3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющей угрозу негативного фактора
1	2	3
1. Подготовительная операция	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	машинка шлифовальная
2. Проведение предварительного подогрева	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Резак газопламенный
3. Осуществление сварки на трубопроводе	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Источник питания сварочной дуги

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
4. Проведение зачистки сварного шва	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	машинка шлифовальная, зубило, молоток
5. Проведение контроля качества сварных стыков труб	- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1	2	3
1. Наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
2. Перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Ограждения перемещающихся деталей и узлов и их предохраняющая окраска, предупреждающие плакаты.	-
3. Нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых труб до высоких температур	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
4. Опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
5. Ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
6. Инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварочных работ	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
7. Ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения	-

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Таблица 3.4 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется ремонтная трубопровода	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная, источник питания сварочной дуги, центратор типа ЦН, сварочный полуавтомат, аппарат рентгеновский Арина 7	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 3.5 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Средства для тушения возгораний в начальной стадии	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем пожаротушения	Системы пожарной автоматика для проведения тушения возгорания	Пожарное оборудование на участке сварки	Средства индивидуальной защиты и спасения производственного персонала	Установленный на участке инструмент для ликвидации возгораний	Системы связи и оповещения на участке сварки
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	Специализированные автомобили или (вызываются)	Нет	Нет	-	План эвакуации,	Ведро, лопата, багор, топор	Тревожная кнопка

Таблица 3.6 – Разработанные организационные мероприятия для исключения возгораний на участке сварки

Перечень операций, осуществляемых в рамках разработанного технологического процесса	Наименование мероприятий	Наименование противопожарного оборудования, которым должен быть укомплектован участок
Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция сварки стыка, контрольные операции.	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 3.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Ремонтная сварка трубопровода	Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 3.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при горении дуги.
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме центратора и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

3.6 Заключение по разделу

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений

4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологи ремонтной сварки магистральных трубопроводов. Объектом исследования является магистральный газопровод диаметром 1024 мм, на котором выполняют обнаружение и исправление дефектов. Технология ремонтной сварки предусматривает использование ручной дуговой сварки штучными электродами. При этом выполняются следующие операции: зачищают дефектный участок трубопровода, выполняют предварительный подогрев, выполняют механическую выборку дефекта, заправляют выборку, выполняют механическую обработку сварного шва, контролируют качество ремонтной сварки.

Таблица 4.1 – Исходные данные для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя в рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	1	1
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	P_p		V	V
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	200	200
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	На	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	На.пл.	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м ²	20	20
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	Цпл	Р/м ²	3000	3000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт -з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	25	40

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение стоимость электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,85
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса: - Источник питания - Газовый подогреватель - Ультразвуковой дефектоскоп - Установка автоматического ультразвукового контроля	Цоб	Руб.	40000	40000
			10000	10000
			400000	400000
			-	2000000
			450000	2450000

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Объём фонда времени, в течение которого происходит работа сварочного оборудования, задействованного в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, может быть определён с использованием формулы:

$$F_{\text{н}} = (D_{\text{р}} \cdot T_{\text{см}} - D_{\text{п}} \cdot T_{\text{п}}) \cdot K_{\text{см}}, \quad (4.1)$$

где $T_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены в часах;

$D_{\text{р}}$ – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{\text{п}}$ – планируемое количество предпраздничных дней в календарном

году;

$T_{\text{п}}$ – планируемое сокращение длительности рабочей смены в часах в предпраздничный день;

$K_{\text{см}}$ – количество рабочих смен.

После подстановки в формулу (4.1) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_{\text{н}} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Расчёт эффективного фонда времени работы сварочного оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам может быть определён с использованием формулы:

$$F_{\text{э}} = F_{\text{н}} \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где B – процент планируемых потерь рабочего времени.

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_{\text{э}} = 4418 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2054 \text{ ч.}$$

4.3 Расчет штучного времени

Оценку штучного времени для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним с использованием формулы:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{маш}} + t_{\text{всп}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{п-з}}, \quad (4.3)$$

где $t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{маш}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{всп}$ – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{всп} = 10\%$ от $t_{маш}$;

$t_{обсл}$ – время обслуживания – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на обслуживание, текущий и мелкий ремонт технологического оборудования задействованного в выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{обсл} = 5\%$ от $t_{маш}$;

$t_{отл}$ – время личного отдыха – объём времени в часах, которое будет затрачено на работником на обеспечение личных потребностей в отдыхе при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{отл} = 5\%$ от $t_{маш}$;

$t_{п-з}$ – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{п-з} = 1\%$ от $t_{маш}$.

После подстановки в формулу (4.3) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$t_{шт.баз} = 48 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 58,05 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 8,47 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы проведения сварочных работ согласно рассматриваемого технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним по формуле:

$$П_{\Gamma} = \frac{F_{\text{Э}}}{t_{\text{шт}}}, \quad (4.4)$$

где $F_{\text{Э}}$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время в часах, которое затрачивает работник на один стык трубопровода по базовому и проектному вариантам технологии;

После подстановки в формулу (4.4) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$П_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/58,5 = 35 \text{ км трубопровода за год};$$

$$П_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/8,47 = 242 \text{ км трубопровода за год}.$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы $П_{\Gamma}=70$ км ремонта трубопровода в год.

Требуемое в этом случае количество сварочного оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot П_{\Gamma}}{F_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}}}, \quad (4.5)$$

где $П_{\Gamma}$ – годовая программа – принятое ранее количество стыков трубопровода, которые необходимо сварить за один календарный год при

выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Fэ$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$K_{вн}$ – принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{58,05 \cdot 70}{2054 \cdot 1,03} = 1,92$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{7 \cdot 70}{2054 \cdot 1,03} = 0,23$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

$$K_3 = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где $n_{\text{расч}}$ – полученное согласно (4.5) количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$n_{\text{пр}}$ – принятое количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$K_{3б} = 1,92/2 = 0,96$$

$$K_{3п} = 0,23/1 = 0,23.$$

4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии сварки

При ремонтной сварке магистральных трубопроводов используются сварочные материалы. Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки, для которой сварочным материалом являются штучные электроды. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$M = C_m \cdot N_p \cdot K_{Т-З}, \quad (4.7)$$

где C_m – цена, определённая для сварочного материала по каталогам предприятий, которые представлены в сети ИНТЕРНЕТ;

$K_{Т-З}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы.

После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_{\text{баз.}} = M_{\text{проектн.}} = 500 \text{ руб/кг} \cdot 50 \text{ кг} \cdot 1,05 = 26250 \text{ рублей}$$

Объем фонда заработной платы (ФЗП) определяется суммой основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$.

Объем $Z_{\text{осн}}$ основной заработной платы определим расчетным путем с использованием формулы:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где $C_{\text{ч}}$ – утвержденная часовая тарифная ставка работника;

$K_{\text{д}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате.

После подстановки в формулу (4.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 58,05 \cdot 200 \cdot 1,88 = 21826 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 8,47 \cdot 200 \cdot 1,88 = 3185 \text{ руб.}$$

Объем $Z_{\text{доп}}$ дополнительной заработной платы определим расчетным путем с использованием формулы:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где $K_{\text{доп}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы

После подстановки в формулу (4.9) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$З_{\text{доп.базов.}} = 21826 \cdot 12 / 100 = 2619 \text{ рублей};$$

$$З_{\text{доп.проектн.}} = 3185 \cdot 12 / 100 = 382 \text{ рублей};$$

$$\PhiЗП_{\text{базов.}} = 21826 + 2619 = 24445 \text{ рублей};$$

$$\PhiЗП_{\text{проектн.}} = 3185 + 382 = 3567 \text{ рублей}.$$

Объём $O_{\text{сн}}$ отчислений на социальные нужды определим расчётным путём с использованием формулы:

$$O_{\text{сн}} = \PhiЗП \cdot K_{\text{сн}} / 100, \quad (4.10)$$

где $K_{\text{сн}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды.

После подстановки в формулу (4.10) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$O_{\text{сн баз.}} = 24445 \cdot 34 / 100 = 7333 \text{ руб.}$$

$$O_{\text{сн проектн.}} = 3567 \cdot 34 / 100 = 1070 \text{ руб.}$$

Объём $З_{\text{об}}$ финансовых затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим расчётным путём с использованием формулы:

$$З_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э-э}}, \quad (4.11)$$

где $A_{\text{об}}$ – финансовые потери от амортизации технологического оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$P_{э-э}$ – финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

Финансовые потери на амортизацию оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot N_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100} \quad (2.12)$$

где $Ц_{об}$ – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, определённая по каталогам предприятий в сети ИНТЕРНЕТ;

N_a – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

$t_{МАШ}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_э$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.12) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{об.б} = \frac{450000 \cdot 21,5 \cdot 58,05}{2054 \cdot 100} = 2734 \text{ рублей,}$$

$$A_{об.пр} = \frac{2450000 \cdot 21,5 \cdot 8,47}{2054 \cdot 100} = 2172 \text{ рублей}$$

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам определим расчётным путём с использованием формулы:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э-э}}}{\text{КПД}} \quad (4.13)$$

где $M_{\text{уст}}$ – установленная мощность оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$C_{\text{э-э}}$ – принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

КПД – принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса

После подстановки в формулу (4.13) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{\text{э-эб}} = \frac{12 \cdot 58,05 \cdot 1,75}{0,7} = 3005 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{э-эпр}} = \frac{12 \cdot 8,47 \cdot 3,02}{0,7} = 438 \text{ рублей}$$

$$З_{\text{оббаз.}} = 2734 + 3005 = 5739 \text{ рублей}$$

$$З_{\text{обпроектн.}} = 2172 + 438 = 2610 \text{ рублей}$$

Значение $C_{\text{тех}}$ показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \text{ФЗП} + \text{Осс} + Z_{\text{об}} \quad (4.14)$$

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 26250 + 24445 + 7333 + 5739 = 63767 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 26250 + 3567 + 1070 + 2610 = 33497 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{цех}}$ показателя цеховой себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (4.15)$$

где $K_{\text{ЦЕХ}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.15) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 63767 + 1,5 \cdot 21826 = 63767 + 32739 = 95506 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 33497 + 1,5 \cdot 3185 = 33497 + 4778 = 38275 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{зав}}$ показателя заводской себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.16)$$

где $K_{\text{ЗАВ}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.16) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 95506 + 1,15 \cdot 21826 = 95506 + 25099 = 121319 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 38275 + 1,15 \cdot 3185 = 38275 + 3663 = 41938 \text{ руб.}$$

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу (табл. 4.2)

Таблица 4.2 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	26250	26250
2. Объем фонда заработной платы	ФЗП	24445	3567
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	7333	1070
4. Объем финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	5739	2610
5. Величина технологической себестоимости	Стех	63767	33497
6. Объем цеховых расходов	Рцех	32739	4778
7. Величина цеховой себестоимости	Сцех	95506	38275
8. Объем заводских расходов	Рзав	25099	3663
9. Величина заводской себестоимости	С _{ЗАВ}	121605	41938

4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам

Значение $K_{\text{общ}}$ капитальных затрат, которые потребуются для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{\text{З.Б.}}, \quad (4.17)$$

где $K_{\text{З}}$ – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$Ц_{\text{ОБ.Б}}$ –остаточная стоимость в рублях технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство, который определяется по сроку службы этого оборудования;

n – ранее полученное количество единиц технологического оборудования, для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам.

Величину $\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}}$ остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}} = \text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} - (\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} \cdot \text{T}_{\text{СЛ}} \cdot \text{H}_{\text{А}} / 100), \quad (4.18)$$

где $\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}}$ – рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

$\text{T}_{\text{СЛ}}$ – количество лет, в течение которых рассматриваемое оборудование было использовано в технологическом процессе по базовому варианту;

$\text{H}_{\text{А}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

После подстановки в формулу (4.17) и (4.18) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Баз.}} = 450000 - (450000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 256500 \text{ рублей}$$

$$\text{K}_{\text{ОБЦБаз.}} = 2 \cdot 256500 \cdot 0,96 = 492480 \text{ рублей}$$

Величину $\text{K}_{\text{ОБЦ.ПР}}$ общих капитальных затрат для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{K}_{\text{ОБЦ.ПР}} = \text{K}_{\text{ОБ.ПР}} + \text{K}_{\text{ПЛ.ПР}} + \text{K}_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.19)$$

где $\text{K}_{\text{ОБ.ПР}}$ – расчётный объём капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{ПЛ.ПР}$ – расчётный объём капитальных вложений в производственные площади, задействованные для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{СОП.ПР}$ – расчётный объём сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии.

Объём $K_{ОБ.ПР}$ капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{ОБ.ПР} = Ц_{ОБПР} \cdot K_{Т-З} \cdot K_{ЗБ}. \quad (4.20)$$

После подстановки в формулу (2.20) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{ОБПроектн.} = 2450000 \cdot 1,05 \cdot 0,23 = 591675 \text{ руб.}$$

Объём $K_{СОП}$ сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{СОП} = K_{ДЕМ} + K_{МОНТ}, \quad (4.21)$$

где $K_{ДЕМ}$ – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{МОНТ}$ – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

Затраты $K_{\text{ДЕМ}}$ на демонтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДЕМ}} = Ц_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.22)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его демонтаж.

После подстановки в формулу (4.22) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 2 \cdot 450000 \cdot 0,05 = 45000 \text{ руб.}$$

Затраты $K_{\text{МОН}}$ на монтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по проектному варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{МОНТ}} = Ц_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.23)$$

где $K_{\text{МОНТ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж.

После подстановки в формулу (4.23) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{МОНТ}} = 2450000 \cdot 0,05 = 122500 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.21) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{СОП}} = 45000 + 122500 = 167500 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.19) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБЩПроектн.}} = 591675 + 167500 = 759175 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{ДОП}}$ дополнительных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩПр}} - K_{\text{ОБЩБ}}. \quad (4.24)$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДОП}} = 759175 - 492480 = 266695 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{УД}}$ удельных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{УД}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{P_{\Gamma}}, \quad (4.25)$$

где P_{Γ} – принятое значение годовой программы.

После подстановки в формулу (4.25) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{УДБаз.}} = 492480/70 = 7035 \text{ руб./ 1 км трубопровода}$$
$$K_{\text{УДПроектн.}} = 759175/70 = 10845 \text{ руб./ 1 км трубопровода}$$

4.6 Расчётное определение показателей экономической и эффективности предлагаемых решений

Снижение Δt трудоемкости при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad . \quad (4.26)$$

После подстановки в формулу (4.26) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{58,05 - 8,47}{58,05} \cdot 100\% = 85\% \quad .$$

Повышение Π_T производительности труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad . \quad (4.27)$$

После подстановки в формулу (4.27) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 85}{100 - 85} = 567\% \quad .$$

Снижение $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$ технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

После подстановки в формулу (4.28) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{63767 - 33497}{63767} \cdot 100\% = 48\%$$

Условно-годовую экономию $\text{Пр}_{\text{ож}}$ (ожидаемую прибыль) при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (4.29)$$

После подстановки в формулу (4.29) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (121605 - 41938) \cdot 70 = 5576690 \text{ руб.}$$

Срок $T_{\text{ок}}$ окупаемости дополнительных капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (4.30)$$

После подстановки в формулу (4.30) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{ок} = \frac{759175}{5576690} = 0,2$$

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_г$ в сфере при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп} \quad (4.31)$$

После подстановки в формулу (4.31) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\mathcal{E}_г = 5576690 - 0,33 \cdot 759175 = 5326162 \text{ руб.}$$

Заключение по экономическому разделу

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоемкость на 85 %, увеличивается производительность труда на 567 %, уменьшается технологическая себестоимость на 48 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 5,6 млн. рублей.

Расчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 5,3 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 0,2 года.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности предложенных решений, которые должны быть внедрены в производство.

Заключение

Поставленная в выпускной квалификационной работе цель – повышение производительности и достоверности контроля состояния магистральных трубопроводов.

Объектом исследования является магистральный газопровод диаметром 1024 мм, на котором выполняют обнаружение и исправление дефектов. Технология ремонтной сварки предусматривает использование ручной дуговой сварки штучными электродами. При этом выполняются следующие операции: зачищают дефектный участок трубопровода, выполняют предварительный подогрев, выполняют механическую выборку дефекта, заправляют выборку, выполняют механическую обработку сварного шва, контролируют качество ремонтной сварки.

В ходе выполнения раздела исполнительного блока были решены следующие задачи: 1) выполнить анализ и обосновать выбор методики диагностики состояния магистрального трубопровода; 2) повысить эффективность диагностики состояния магистрального трубопровода.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 5,3 млн. рублей.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при контроле состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Список используемой литературы

1. Варламов, Д.П. Повышение надежности магистральных газопроводов при использовании многократной внутритрубной дефектоскопии / Д.П. Варламов, В.Н. Дедешко, В.А. Канайкин, О.И. Стеклов // Автоматическая сварка. – 2012. – № 3. – С. 28–34.
2. Мазур, И.И. Иванцов О. М. Безопасность трубопроводных систем / И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: ИЦ «Елина», 2004. – 1104 с.
3. Стеклов, О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением / О.И. Стеклов. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
4. Поляков, С.Г. Диагностика коррозионного состояния внутренней поверхности магистрального нефтепровода / С.Г. Поляков, Л.И. Ныркова, С.Л. Мельничук, Н.А. Гапула // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 24–28.
5. Методический подход к изучению внутренней коррозии магистральных нефтепроводов / С. Поляков, Л. Ныркова, С. Мельничук [и др.] // Физ.-хим. мех. материалов. – 2008. – № 7. – С. 756–760.
6. Недосека, А.Я. Об оценке надёжности эксплуатирующихся конструкций / А.Я. Недосека, С.А. Недосека // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 2. – С. 7–17.
7. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте / Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюк. – М.: ООО «Анализ опасностей», 2003.
8. Канайкин, В. А. Внутритрубная магнитная дефектоскопия магистральных трубопроводов / В.А. Канайкин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 308 с.
9. Варламов, Д.П. Мониторинг дефектности магистральных газопроводов / Д.П. Варламов, В.А. Канайкин, А.Ф. Матвиенко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. – 120 с.

10. Варламов, Д.П. Анализ стресс-коррозионной дефектности магистральных газопроводов / Д.П. Варламов, В.А. Канайкин, А.Ф. Матвиенко [и др.] – Екатеринбург, 2010. – 190 с.

11. Великоиваненко, Е.А. Оценка работоспособности магистрального трубопровода с локальным утонением стенки при ремонте дуговой наплавкой / Е.А. Великоиваненко, Г.Ф. Розынка, А.С. Миленин, Н.И. Пивторак // Автоматическая сварка. – 2015. – № 1. – С. 22–27.

12. Юхимец, П.С. Экспериментальное обоснование метода расчёта остаточного ресурса трубопроводов с коррозионными повреждениями / П.С. Юхимец, Э.Ф. Гарф, В.А. Нехотящий // Автоматическая сварка. – 2005. – № 11. С. 17–21.

13. Махненко, В.И. Математическое моделирование язвенных дефектов в действующих нефте- и газопроводах и разработка численного метода оценки допустимых режимов дуговой заварки дефектов / В.И. Махненко, В.С. Бут, Е.А. Великоиваненко [и др.] // Автоматическая сварка. – 2001. – № 11. – С. 3–10.

14. Amend B., Bruce W.A. Welding on in-service pipelines: dispelling popular myths and misconceptions // Welding Assoc. J. – 2013. – № 2. – P. 30–39.

15. LaMorte C.R., Boring M., Porter N. Advanced welding repair and remediation methods for in-service pipelines. Final Report. Columbus: EWI, 2007. – 283 p.

16. Троицкий, В.А. Мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов / В.А. Троицкий // Автоматическая сварка. – 2017. – № 3. – С. 29–39.

17. Абакумов, А.А. Магнитная диагностика газонефтепроводов / А.А. Абакумов. – Москва: Энергоатомиздат, 2001.

18. Ключев, В.В. Неразрушающий контроль. Справочник в 8 томах / В.В. Ключев, В.Ф. Мужичкий, Э.С. Горкунов, В.Е. Щербинин. – Москва: Спектр, 2010.

19. Патон, Б.Е. Основные направления работ ИЭС им. Е.О. Патона в совершенствовании неразрушающего контроля сварных соединений. Сб. материалов 8-й Национальной конференции УкрNDT / Б.Е. Патон, В.А. Троицкий. – С. 8–28.

20. Тощевиков, В.М. Перспективы применения бесконтактной магнитометрической диагностики (БМД) нефтепромысловых трубопроводов / В.М. Тощевиков, Н.С. Зембеков // Промышленная экологическая безопасность. Охрана труда. – 2007. – № 11. – С. 17–21.

21. Саража, С.В. Внедрение новой концепции диагностики технологических трубопроводов в ОАО «Самотлорнефтегаз» / С.В. Саража // Территория NDT. – 2013. – № 4. – С. 36–41.

22. Троицкий, В.А. О коллективном проекте стран Европы по мониторингу состояния объектов посредством дальнедействующего ультразвука (LRUCM) / В.А. Троицкий, А.И. Бондаренко, Н.В. Троицкая, А.Л. Шекеро // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2007. – № 1. – С. 17–23.

23. Mudge, P.J. A long range method of the detection of corrosion under insulation in process pipework / P. J. Mudge, A. M. Lank, D. N. Allyne. – Thepmie Project: OG474/94, 5 th European Union Hydrocarbons Symposium, Edinburg, 26–28 Nov., 1996.

24. Икэда, Т. Техника контроля направленными волнами для эксплуатационного контроля заводских трубопроводов / Т. Икэда, Р. Канэхара, М. Миядзава [и др.] // Hinakai Kensa. – 2005. – № 11. – P. 595–599.

25. Long Lange Ultrasonic test system. Section 1. System Overview and Principles of Operation. – Sept., 2004. – 6 с.