

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)

«Современные технологические процессы изготовления деталей
в машиностроении»
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Методика контроля состояния длительно эксплуатируемых
магистральных трубопроводов

Обучающийся

И.С. Горшенин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент О.В. Шашкин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении контроля состояния и ремонта длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Объектом исследования в настоящей выпускной квалификационной работе выступает стареющий магистральный трубопровод диаметром 1024 мм, выполненный из стали 17Г1С-У.

При анализе литературных данных по статистике аварий на магистральных трубопроводах показано, что самым распространённым видом дефекта является коррозионное поражение труб. Технология заварки дефекта предусматривает определение границ дефектного участка, выборка дефектного участка с применением пневматической шлифовальной машины, предварительный прогрев, заплавление выборки с применением ручной дуговой сварки, зачистку поверхности заплавленного места, контроль качества.

При анализе опасных и вредных производственных факторов, которые сопровождают выполнение операций проектного технологического процесса, идентифицированы негативные производственные факторы, предложены технические средства и организационные мероприятия по защите от них.

Производительность труда повышается на 567 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 49 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 5,66 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,1 года.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют строительство и ремонт магистральных трубопроводов.

Abstract

The title of the graduation work « Methodology for monitoring the condition of long-term operated main pipelines».

The supply of natural resources currently continues to be the main source of prosperity and political stability in the Russian Federation. The main means of delivering gas and oil over long distances is the main pipelines, the construction and maintenance of which requires the involvement of significant financial and labor resources.

The aim of the work is increasing the productivity and reliability of assessing the condition of long-term operated main pipelines.

The design technology was assessed to ensure environmental safety. Organizational measures are proposed to protect the environment from negative anthropogenic factors arising during the implementation of the design technology.

The economic calculations carried out make it possible to judge the high efficiency of the solutions proposed in this final qualification work.

Labor productivity increases by 567%. The reduction in technological cost amounted to 49%. At the same time, due to the increase in labor productivity and cost reduction, it was possible to obtain an annual economic effect in the amount of 5.66 million rubles.

Содержание

Введение	6
Современное состояние диагностики и ремонта длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.	8
1.1 Описание трубопровода и обнаруживаемых дефектах.	8
1.2 Сведения о материале нефтепровода.	13
1.3 Выявление и исправление дефектов на магистральном трубопроводе.	15
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	19
2 Повышение производительности и достоверности контроля состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.	21
2.1 Анализ применяемых методик.	21
2.2 Сущность предлагаемого метода.	23
2.3 Повышение чувствительности метода.	26
2.4 Комплексная методика оценки состояния трубопровода.	29
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений	33
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта	33
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков.	34
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков.	37
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта	38
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности	40
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.	42
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной	

технологиям.	42
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования.	44
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии	45
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам.	47
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии.	51
4.6 Показатели экономической эффективности	53
Заключение	55
Список используемой литературы и используемых источников.	57

Введение

Современное общество продолжает увеличивать потребление энергетических ресурсов, основным источником которых являются углеводороды – нефть и природный газ. Поставка этих природных ресурсов в настоящее время продолжает оставаться основным источником благополучия и политической стабильности в Российской Федерации. Основным средством доставки газа и нефти на значительные расстояния являются магистральные трубопроводы, строительство и обслуживание которых требует привлечения значительных финансовых и трудовых ресурсов.

При диагностике состояния и ремонте магистрального трубопровода возможные ошибки могут привести к значительным техногенным рискам, поэтому следует проводить своевременные ремонтные работы.

В источнике [14] отмечается, что ежегодный объём требуемого ремонта на магистральных трубопроводах составляет порядка 10 тысяч километров, при этом средства, полученные от продажи нефти и газа позволяют поставщику провести ремонт порядка 2 тысяч километров. В связи с этим стремительно стареющие трубопроводы нефтепроводы из источника дохода превращаются в источник убытка, отрицательное влияние которого на бюджет Российской Федерации ежегодно будет только расти.

Также следует отметить повышающиеся экологические требования, которые вызывают необходимость совершенствования методик контроля состояния магистральных трубопроводов [6], [15]. Для оценки состояния трубопроводов в настоящее время нашли применение различные методы, среди которых следует отметить вихретоковую, магнитный, оптический, рентгеновский [15], [32].

В связи с тем, что эксплуатация большинства трубопроводов проходила в течение более чем 15 лет, в них развиваются коррозионные дефекты. При этом доля коррозионных дефектов неуклонно растёт. Так, в период с 1998 по 2007 год количество аварий по причине коррозионных

дефектов составило 30 % от общего числа аварий на магистральных трубопроводах. Начиная с 2008 года доля аварий, произошедших по причине коррозионных дефектов, увеличилась до 50 % [13].

Действие растягивающих напряжений и наличие в металле трубы вредных примесей ускоряют коррозионное разрушение [17], [18], [33].

В результате совокупного действия глобального потепления и старения трубопровода следует ожидать увеличения количества аварий, в том числе и со смертельными исходами. Также следует указать усиливающееся отрицательное воздействие на коррозионные процессы блуждающих токов, которые возникают от соседства трубопровода с железными дорогами и линиями электропередач.

Магистральный трубопровод работает в условиях перманентного старения и накопления дефектов, влияние которых на первом этапе эксплуатации незначительно. Однако в ходе продолжительной работы дефекты развиваются и игнорирование их наличия может повлечь тяжелые последствия [16]. При этом необходимости сразу исправлять обнаруженные дефекты, большинство из них позволяет продолжать безопасную эксплуатацию трубопровода. Необходимо своевременно диагностировать состояние трубопровода и проводить своевременное устранение тех дефектов, размеры которых достигли критических значений.

Необходимо проведение исследований в направлении повышения производительности диагностических и ремонтных мероприятий на магистральных трубопроводах [13], [24].

На основании вышеизложенного следует признать актуальность цели выпускной квалификационной работы – повышение производительности и достоверности оценки состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Достижение поставленной цели требует изучения источников научно-технической информации по рассматриваемому вопросу и ознакомления с результатами работ отечественных и зарубежных исследователей.

1 Современное состояние диагностики и ремонта длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов

1.1 Описание трубопровода и обнаруживаемых дефектах

Оценка состояния магистральных трубопроводов, эксплуатация которых происходит в Российской Федерации, результаты которой представлены в работах [20], [28], [29]. Около 53 % трубопроводов имеет возраст более 30 лет, а некоторые трубопроводы имеют возраст более 50 лет.

При длительной эксплуатации магистрального трубопровода в нём происходит зарождение и развитие большого числа дефектов. В работе [19] указаны причины аварий, представленные в виде диаграммы на рисунке 1. На заводской брак, допущенный при производстве трубы, приходится порядка 32 % аварийных ситуаций. На коррозионные дефекты, развившиеся в процессе эксплуатации, приходится порядка 22 % аварийных ситуаций. На механические повреждения в результате эксплуатации приходится порядка 18 % аварийных ситуаций. Причиной возникновения ещё 7 % аварийных ситуаций в процессе эксплуатации магистрального трубопровода становятся дефекты, полученные при его строительстве. Оставшиеся 21 % аварийных ситуаций происходит по иным причинам.

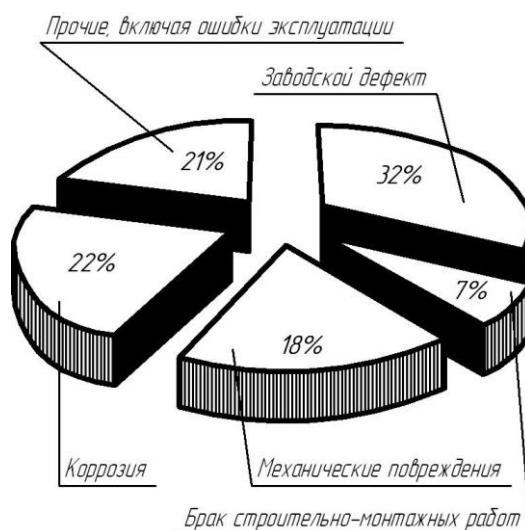


Рисунок 1 – Анализ доли различных причин аварийности на магистральных трубопроводах согласно источнику [19]

В таблице 1 представлены данные по дефектам трубопроводов в зависимости от срока их эксплуатации согласно работе [29].

Таблица 1 – Влияние сроков эксплуатации магистрального трубопровода на дефектность согласно работе [29]

Продолжительность нахождения газопровода в эксплуатации, лет	Поражение стенки трубы, %	Процентное отношение закритических дефектов к общему числу обнаруживаемых дефектов, %
10	20...25	5
20	20...30	40
30	30...40	40

В зависимости от срока эксплуатации магистрального трубопровода проводят ряд мероприятий, направленных на поддержание его работоспособности. На рисунке 2 представлена схема проведения таких мероприятий в зависимости от периода эксплуатации. Амортизационный срок службы трубопровода составляет 33 года, в течение этого периода поддержание его работоспособности происходит за счёт амортизационных отчислений. Эти отчисления не облагаются налогами. При этом состояние трубопровода не оказывает влияния на амортизационный срок, который задаётся нормативно 33 года.

После окончания амортизационного срока проводят мероприятия по продлению ресурса трубопровода, которые позволяют эксплуатировать его до срока 40...45 лет, в течение которого выполняют мониторинг состояния и своевременное устранение дефектов критического уровня.

После этого срока принимается решение о возможности дальнейшей эксплуатации трубопровода. При этом следует принимать во внимание техническое состояние предприятия, которое будет эксплуатировать и обслуживать данный трубопровод, возможность проведения диагностики и своевременного устранения обнаруживаемых дефектов. Этот период эксплуатации трубопровода по техническому состоянию может продолжаться до 45...60 лет после его строительства.

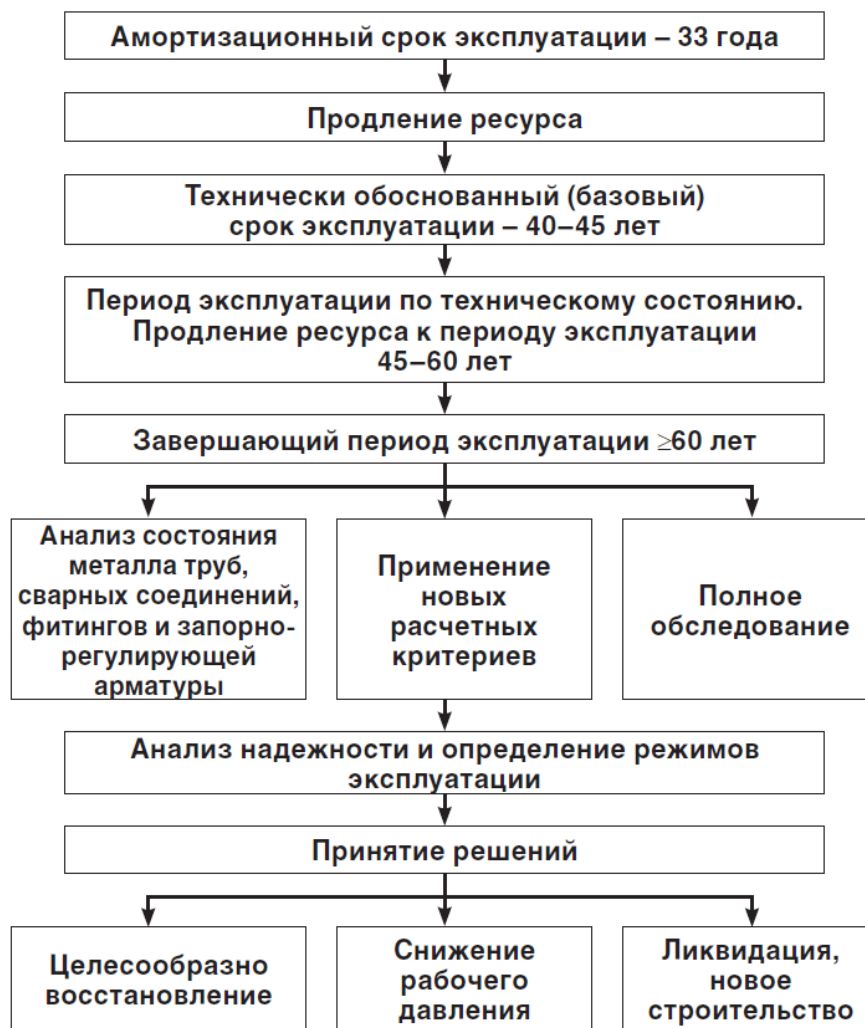


Рисунок 2 – Периоды эксплуатации магистральных газопроводов

После завершения эксплуатации трубопровода по техническому состоянию начинается завершающий период эксплуатации трубопровода, в течение которого приходится иметь дело со стареющими трубами и многочисленными дефектами. Вопрос о дальнейшей эксплуатации такого трубопровода решается с учётом экономической целесообразности и технического состояния трубопровода. При этом возможно как проведение на трубопроводе восстановительных работ и дальнейшая его эксплуатация в течение ещё некоторого срока. Также возможно принятие решения о снижении рабочего давления в трубопроводе, что позволит уменьшить нагрузку на его стенки. При невозможности проведения этих мероприятий принимают решение о ликвидации трубопровода и строительстве нового трубопровода.

На рисунке 3 представлены сведения о причинах и количестве аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах в зависимости от срока эксплуатации.

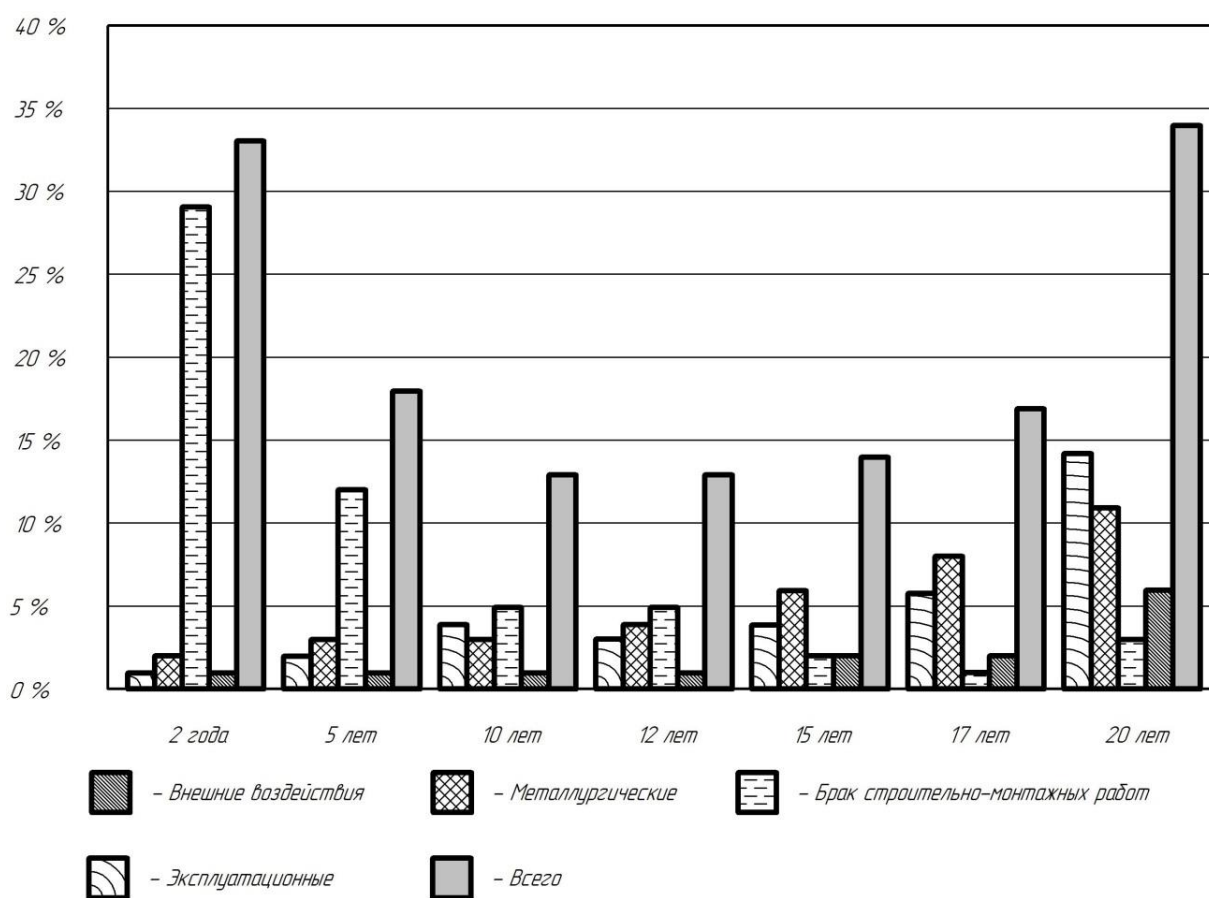


Рисунок 3 – Сведения о причинах и количестве аварийных ситуаций на магистральных трубопроводах в зависимости от срока эксплуатации

В процессе эксплуатации и контроле состояния магистрального трубопровода выявляется значительное количество дефектов, которые были допущены при проведении сварочных работ. Такими дефектами являются поры, шлаковые включения, смещения кромок, трещины и подрезы. Статистика по дефектам сварки представлена на рисунке 4, а вероятность их обнаружения различными методами контроля представлена на рисунке 5.

При эксплуатации стареющего трубопровода наблюдается рост числа обнаруживаемых дефектов в геометрической прогрессии [4], [5]. При этом затраты на поддержание трубопровода в рабочем состоянии также существенно растут. В результате дальнейшая эксплуатация трубопровода становится нецелесообразной.

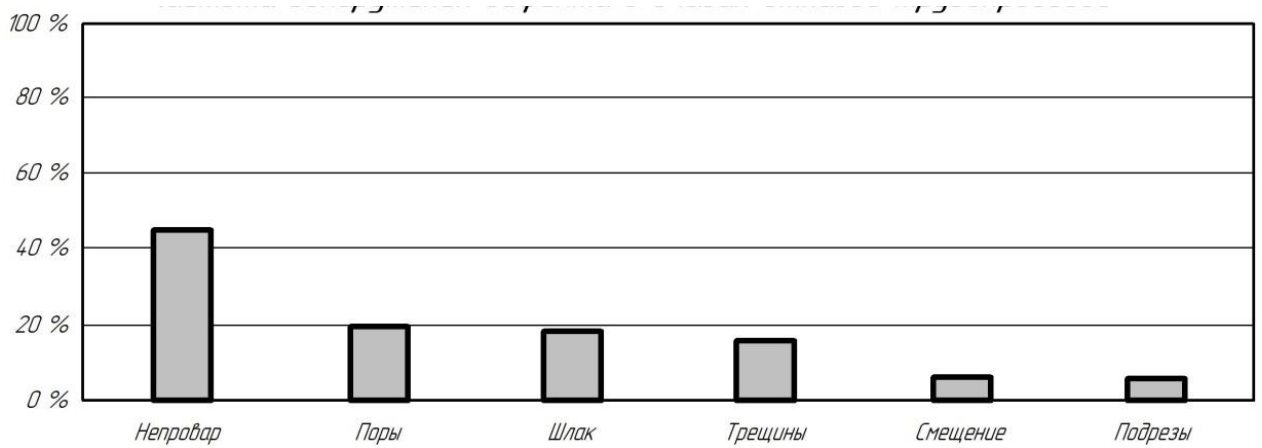


Рисунок 4 – Частота обнаружения дефекта в очагах отказа трубопроводов

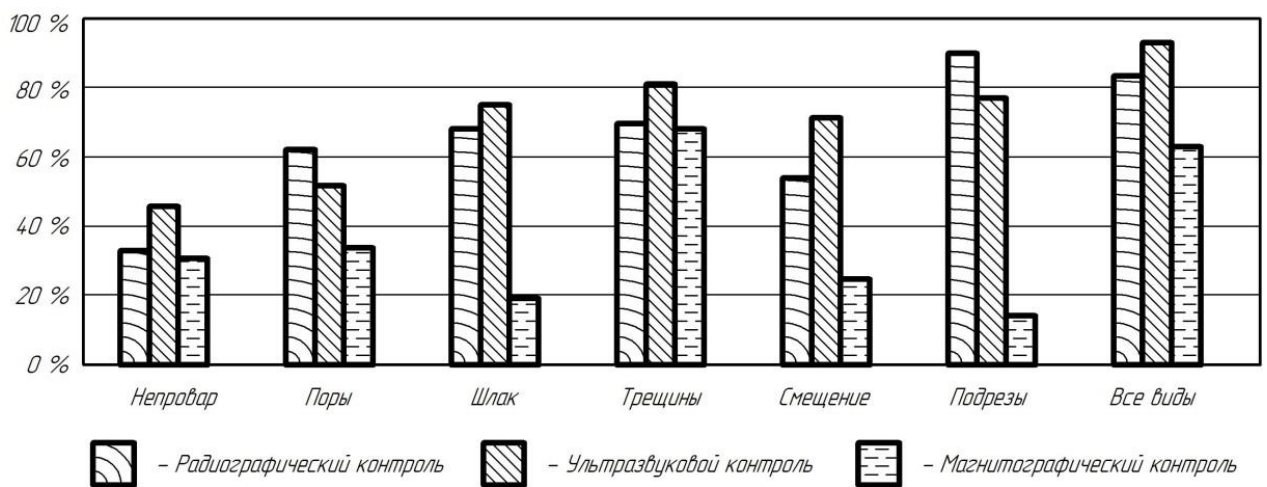


Рисунок 5 – Вероятность выявления дефекта при различных методах контроля

В результате совокупного действия глобального потепления и старения трубопровода следует ожидать увеличения количества аварий, в том числе и со смертельными исходами. Также следует указать усиливающееся отрицательное воздействие на коррозионные процессы блуждающих токов, которые возникают от соседства трубопровода с железными дорогами и линиями электропередач.

Существенное снижение затрат на ремонт трубопровода в ходе продолжительной эксплуатации возможно при повышении производительности и достоверности диагностики его состояния, которая может проводиться с применением новых физических эффектов.

1.2 Сведения о материале нефтепровода

Для изготовления рассматриваемого трубопровода были применены трубы из стали 17Г1С-У, которая имеет класс прочности К52. В таблице 2 представлено содержание химических элементов в стали 17Г1С-У.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в стали 17Г1С-У [10]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0.15 - 0.2	0.4 - 0.6	1.15 - 1.6	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Применение стали 17Г1С предусматривается для конструкций, работа которых выполняется при температуре от -40 до +475 °С и у условиях действия повышенных давлений. Из стали 17Г1С изготавливают магистральные и технологические трубопроводы, трубопроводы пара и горячей воды для давления не выше 2,2 МПа.

При анализе разрушений трубопроводов, выполненных из стали 17Г1С, установлено, что разрушение начинается в концентратора напряжений и развивается как по сварному шву, так и по основному металлу.

При сварке труб из стали 17Г1С наблюдается сильное укрупнение зерна и снижение прочности в зоне термического влияния, что объясняется перегревом [21].

При изготовлении металлических конструкций из стали 17Г1С наблюдается некоторое снижение ударной вязкости в околошовной зоне, что отмечается в работах [23], [30]. Это происходит по причине перегрева и роста зерна, который происходит в результате сварки.

Длительная эксплуатация конструкций из стали 17Г1С-У приводит к образованию большого числа дефектов и очагов разрушения в месте выполнения сварных швов [22], [25]. Структура и свойства соединений при сварке стали 17Г1С значительно зависят от параметров режима и характера горения дуги. Структура сварного шва в основном перлитная, как показано

на рисунке 6-а, но сварка на импульсном режиме позволяет уменьшить размер зёрен металла в 1,3...1,8 раза, как показано на рисунке 6-б [20].

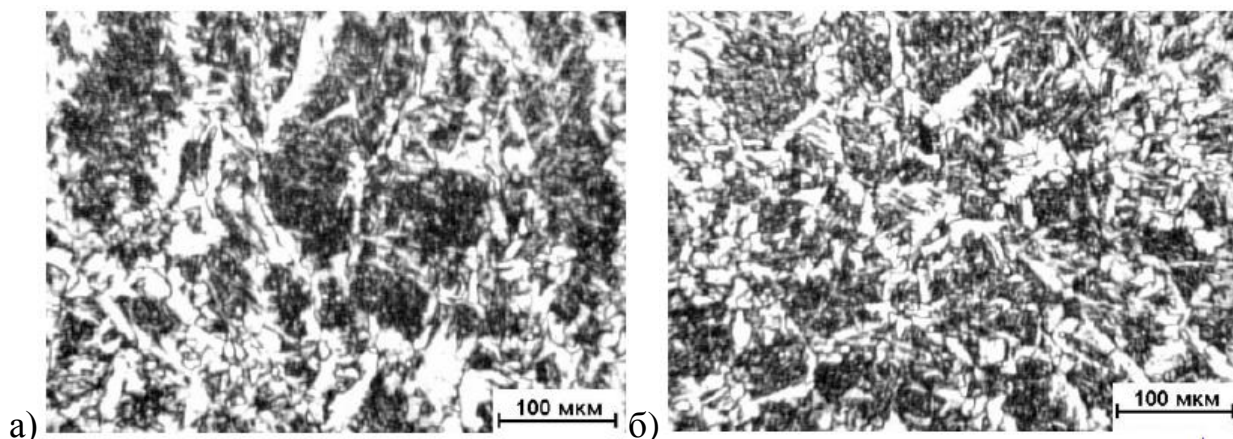


Рисунок 6 – Структура металла сварного шва стали 17Г1С-У при сварке стационарной дугой (а) и импульсной дугой (б)

При сварке конструкций из стали 17Г1С в металле сварного шва и околошовной зоне образуется малое количество закалочных структур, которые равномерно и дезориентированно распределены по ферритной основе. Это не оказывает существенного влияния на снижение пластичности металла в месте сварки. Однако при нарушении техники сварки и условий охлаждения возможно локальное увеличение плотности закалочных структур в металле, что снизит стойкость против хрупкого разрушения. Такие элементы, как марганец и кремний, содержащиеся в стали 17Г1С, увеличивают количество образующихся при сварке закалочных структур. Выполнение сварки конструкций из стали 17Г1С должно проходить на режимах с уменьшенной по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей погонной энергией [3].

Равнопрочность сварного шва и основного металла при выполнении конструкций из стали 17Г1С достигается путём дополнительного легирования металла сварного шва через сварочную проволоку.

Для уменьшения образования тещин необходимо применять материалы с пониженным содержанием серы.

1.3 Выявление и исправление дефектов на магистральном трубопроводе

Ремонтная сварка дефектного места трубопровода выполняется электродами с основным видом покрытия типа Э60 или Э50А. Питание сварочной дуги обеспечивается от выпрямителя ВД-306, который представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Сварочный выпрямитель ВД-306Ш

Первой операцией является подготовка дефектного участка трубы. Визуально определяют положение дефекта на трубе, после чего удаляют рваные остатки полимерной ленты защитного покрытия. При помощи ветоши выполняют зачистку поврежденного места от пыли, загрязнений, снега.

Далее с использованием шлифовальной машинки выполняют срезание заусенцев, задиров и острых выступов. Закругляют края повреждённого участка по всему периметру. На рисунке 8 представлена форма выборки дефектного места. Поверхность дна выборки должна быть гладкой, а сама выборка должна иметь овальную форму. Переход от выборки к основному металлу должен быть выполнен с радиусом не менее 80 мм. Зачистку продуктов коррозии необходимо выполнять вглубь здорового металла не менее чем на 1 мм. Для разметки границ выборки применяют гибкие шаблоны овальной формы. Остаточная толщина стенки трубы должна составлять не менее 5 мм.

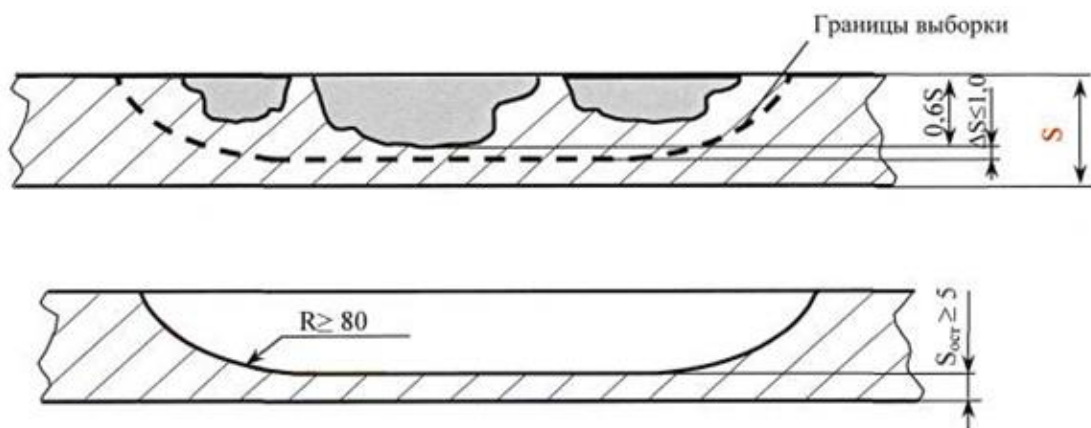


Рисунок 8 – Форма выборки

После выполнения выборки проводят контроль состояния оставшегося металл при помощи капиллярного или ультразвукового метода. Недопустимо наличие таких повреждений, как расслоения и трещины. Для контроля остаточной стенки трубопровода применяется ультразвуковой толщиномер А-1208, который представлен на рисунке 9. Для выборки дефектного места применяется радиальная шлифовальная машинка ИП-2014, представленная на рисунке 10.



Рисунок 9 – Ультразвуковой толщиномер А-1208



Рисунок 10 – Радиальная шлифовальная машина ИП-2014

Второй операцией является предварительный подогрев до температуры 100...130 °С. Нагрев выполняют газовыми нагревателями с применением пропан-бутановой смеси. Нагрев проводят на ширину 80 мм в каждую сторону от выборки. Температуру нагрева контролируют с применением контактной термопары ТК-5, установку которой выполняют на расстоянии 15 мм от края выборки.

Третьей операцией является заварка выборки. Последовательность ремонтной заварки представлена на рисунке 10. При заварке применяют узкие валики. Сварное соединение выполняется несколькими слоями: первый слой, заполняющие слои, контурный шов, облицовочный слой.

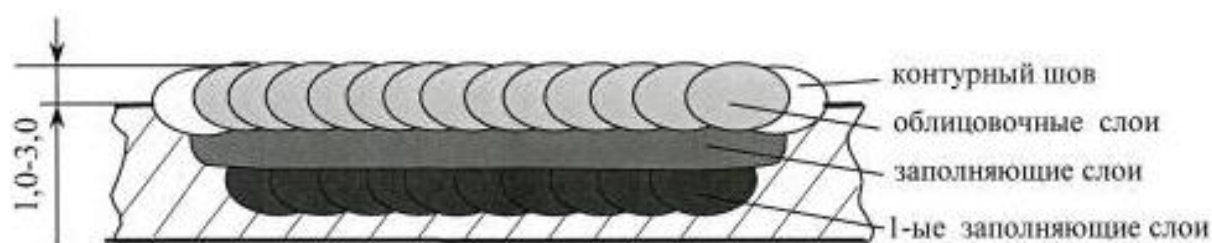


Рисунок 10 – Последовательность ремонтной заварки выборки

Первый слой выполняют узкими параллельными валиками поперечно оси трубы. Сварку ведут «на подъём». Валики всех остальных нечётных слоёв накладывают таким же образом. Второй и все последующие чётные слои выполняют валиками, которые направлены параллельно оси трубы. Порядок наложения валиков при заварке ремонтной выборки представлен на рисунке 11. Ширина валиков должна составлять не более 10 мм, перекрытие валиков должно быть не менее 3 мм. Следует тщательно выводить кратер на сварной шов и тщательно его заплавлять, далее выполнять механическую зачистку поверхности кратера.

Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. В таблице 3 приведены значения параметров режима для различных слоев при заварке ремонтной выборки. Сварку следует вести короткой дугой, накладывая на движение электрода поперечные колебания.

Выполнение контурного шва следует проводить перед сваркой облицовочного слоя, колебания электрода выполняют поперечно линии выборки. Ширина контурного шва должна быть порядка 8...12 мм, контурный шов должен иметь плавный переход к основному металлу. Расположение контурного шва представлено на рисунке 12.

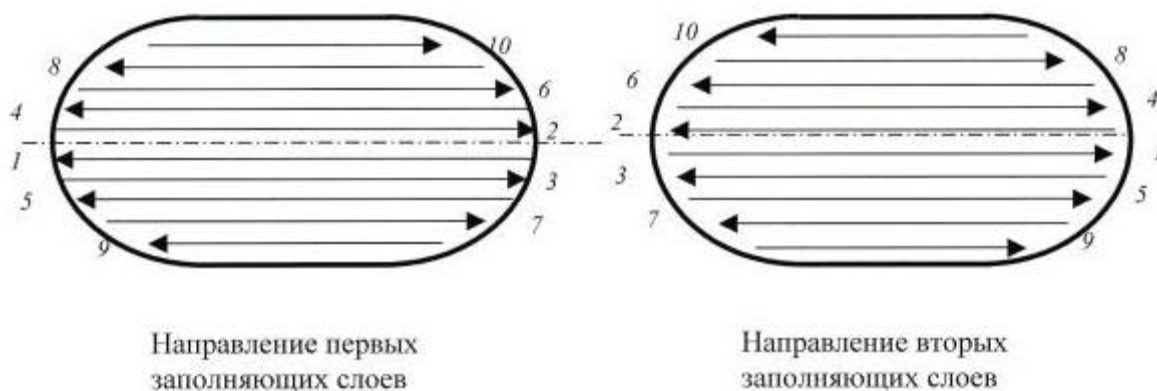


Рисунок 11 – Порядок наложения валиков четных и нечетных слоев шва

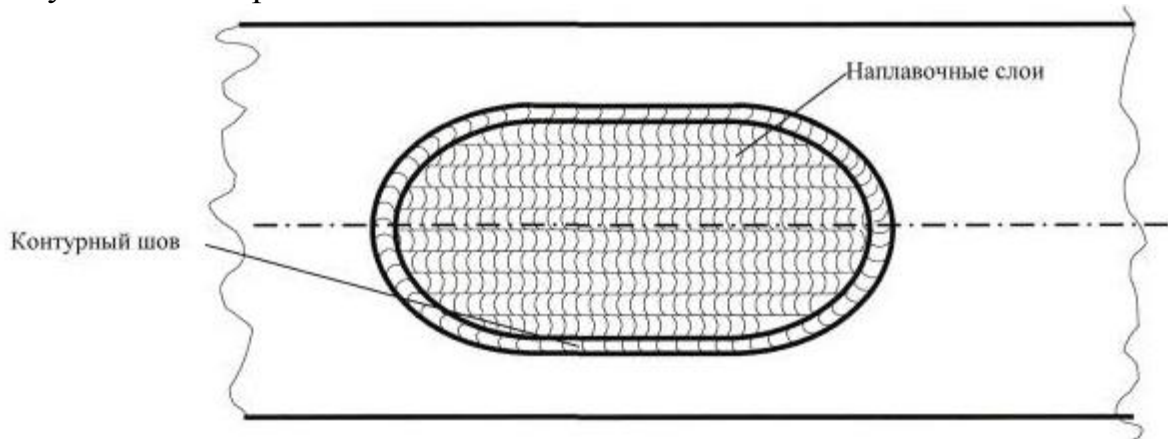


Рисунок 12 – Расположение контурного шва при заварке выборки

Таблица 3 – Параметры режима сварки при заполнении ремонтной выборки

«Слой шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, мм/с
Первый	3,0; 3,2 (2,5; 2,6)	90 – 100 (70 – 80)	1,40 – 1,50 (1,25 – 1,40)
Заполняющие	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50
Контурный	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50
Облицовочный» [14]	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50

Четвёртой операцией является механическая обработка выборки после сварки, которая выполняется шлифовальным кругом. Поверхность после

механической обработки должна иметь высоту усиления 1...1,5 мм и иметь гладкую форму. На рисунке 13 представлен внешний вид заваренной выборки после проведения механической обработки.

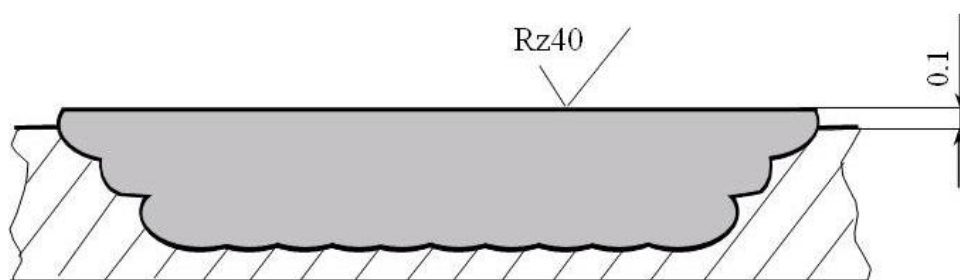


Рисунок 13 – Параметры механической обработки поверхности заваренной ремонтной выборки

Пятой операцией является контроль качества. Выполняют визуально-измерительный контроль качества, ультразвуковой контроль качества и контроль проникающими веществами.

При визуально измерительном контроле и контроле проникающими веществами определяют наличие поверхностных дефектов, к которым относят незаваренные кратеры, свищи, несплавления, выходящие на поверхность трещины и поры.

При ультразвуковом контроле определяют наличие внутренних дефектов: трещин, пор, расслоений, шлаковых включений, подрезов в корне шва, непроваров.

Визуально-измерительный контроль проводят на участке, перекрывающем заваренную выборку во все стороны на 100 мм. Ультразвуковой контроль и контроль проникающими веществами проводят на участке, перекрывающем заваренную выборку во все стороны на 50 мм.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных работ при ремонте магистрального нефтепровода.

Объектом исследования в настоящей выпускной квалификационной работе выступает стареющий магистральный трубопровод диаметром 1024 мм, выполненный из стали 17Г1С-У.

При анализе литературных данных по статистике аварий на магистральных трубопроводах показано, что самым распространённым видом дефекта является коррозионное поражение труб. Технология заварки дефекта предусматривает определение границ дефектного участка, выборка дефектного участка с применением пневматической шлифовальной машины, предварительный погрев, заплавление выборки с применением ручной дуговой сварки, зачистку поверхности заплавленного места, контроль качества.

Достижение поставленной цели следует проводить путём решения задач выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения достоверности и производительности контроля состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Второй задачей является повышение эффективности выбранной методики диагностики.

Третьей задачей является оценка экологичности предложенных в работе решений и на предмет обеспечения безопасности труда.

Четвёртой задачей является оценка возможного экономического эффекта при внедрении предлагаемых решений в производство.

2 Повышение производительности и достоверности контроля состояния длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов

2.1 Анализ применяемых методик

Обеспечение безопасной эксплуатации магистрального трубопровода возможно при условии проведения комплекса мероприятий, которые предусматривают выявление, сопровождение и устранение дефектов, возникающих при его работе. Также необходимо прогнозировать ресурс трубопровода с учётом его состояния.

Поверхностные повреждения трубы, которые являются самым распространённым дефектом, возникают при длительной эксплуатации под воздействием окружающей среды. Такой дефект проявляется как частичная потеря металла трубы, в результате чего происходит её утонение. Так как трубопровод имеет значительную протяжённость, обнаружение коррозионных дефектов на нём требует существенных трудовых и материальных затрат [1], [26].

Внутритрубная диагностика позволяет обнаружить значительное количество дефектов, которое может достигать нескольких сотен на одном километре [27]. Одновременное их обнаружение и устранение является экономически нецелесообразной задачей. Значительная часть коррозионных дефектов не достигла критического значения и не оказывает практического влияния на безопасность эксплуатации трубопровода. Возможна дальнейшая эксплуатация трубопровода, а за обнаруженными дефектами следует вести наблюдение и устранять их только после достижения критического уровня. Если дефект признан умеренным, немедленное исправление его не требуется.

Значительное влияние на достоверность диагностики состояния трубопровода оказывает применяемая методика, выбор которой должен осуществляться с учётом возраста трубопровода.

В настоящее время в арсенале технологов-сварщиков имеется ряд методик контроля, которые продолжают совершенствоваться [36]. Из них наиболее распространёнными являются такие методики: термографическая диагностика [31], магнитная диагностика [29], магнитометрическая диагностика [31], внутритрубная диагностика [28], низкочастотная ультразвуковая диагностика [27].

Наибольшую производительность имеет низкочастотная ультразвуковая диагностика, которая выполняется дистанционно и позволяет вести обнаружение дефектов на ранней стадии их возникновения. Применение этой методик контроля позволяет проводить одновременную диагностику протяжённого участка трубопровода [27].

На рисунке 14 представлено проведение контроля состояния магистрального трубопровода с применением методики низкочастотной ультразвуковой диагностики. Применение этой методики на новых трубопроводах делает возможной оценку качества проведённых работ при строительстве трубопровода. Применение методики на длительно эксплуатируемом трубопроводе позволяет оценивать его состояние с учётом износа труб [31].



Рисунок 14 – Проведение контроля состояния магистрального трубопровода с применением методики низкочастотной ультразвуковой диагностики

Работа [31] содержит информацию об успешном применении методики низкочастотного ультразвукового контроля при диагностике участка магистрального трубопровода длиной 74 км. Применение методики

позволило обнаружить 1345 дефектов утонения стенки трубы до 20 %. Дальнейшее уточнение границ и величины дефектов проводилось с использованием ультразвукового толщиномера. Также было выявлено 263 дефекта, величина которых превышает критический уровень и требует немедленного исправления. Ещё 230 обнаруженных дефектов по своей величине приближаются к критическому уровню.

2.2 Сущность предлагаемого метода

На теле трубы закрепляют излучатель, который становится источником направленных ультразвуковых волн. Такая волна имеет возможность распространения на значительное расстояние по телу трубы [34]. Место залегания дефекта определяется по отражённой от него звуковой волне. При диагностике применяются направленная волна, который имеет высокую моду. Т.е. звуковая волна распространяется в узком спектре частот и направлений. В результате происходит концентрация энергии волны в стенке трубы без потерь энергии через поверхности труб. Т.е. затухания волны не происходит, и она может распространяться по телу трубы на расстояние в несколько десятков и сотен метров. Таким образом, появляется возможность проведения длинномерной диагностики, а производительность повышается в несколько раз.

Традиционные методики контроля, в числе которых наибольшее распространение получили радиографический, ультразвуковой и вихретоковой методы, состояние трубы диагностируется на незначительной площади, контролируемый участок расположен непосредственно под излучателем или около него.

На рисунке 15 представлено отличие по контролируемой площади размеров зоны контроля при ультразвуковом контроле (рисунок 15-а) и длинномерной ультразвуковой низкочастотной диагностике (рисунок 15-б).

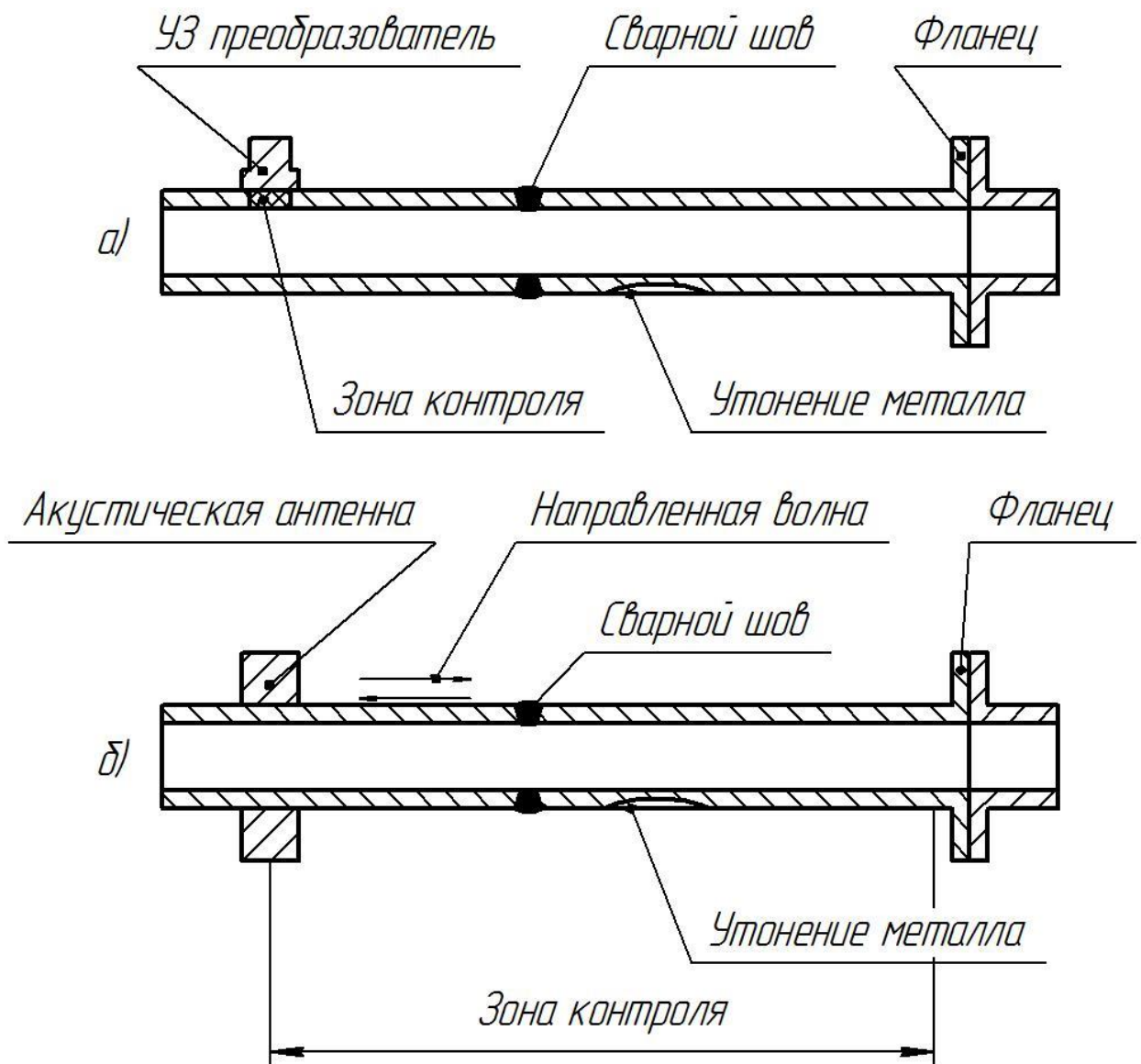


Рисунок 15 – Схема контроля трубопровода традиционными методами (а) и методом дальнего УЗК направленными волнами (б)

Проведение дальнего ультразвукового контроля возможно на участке трубы длиной несколько десятков метров. При этом не требуется удалять с поверхности трубы защитное покрытие, а диагностика возможна как на земле, так и под землёй. Источником направленных ультразвуковых волн является пьезоизлучатели, которые выполнены в виде кольца и располагаются по периметру трубы. Частота ультразвуковых колебаний, которые используются при диагностике, составляет от 20...100 кГц. Звуковая волна беспрепятственно проходит по телу трубы и отражается от дефектов. Местоположение дефекта определяется с точностью 100 мм.

Отражение звуковой волны происходит не только от дефектов, но и от конструктивных элементов трубы. Таким образом, отражатели делятся на симметричные и несимметричные. Классификация отражателей представлена на рисунке 16. Симметричными отражателями выступают патрубки, фланцы, сварные стыки. Эти документы располагаются на трубопроводе в соответствии с технической документацией, отражающийся от этих элементов сигнал служит для задания положения дефектных мест.

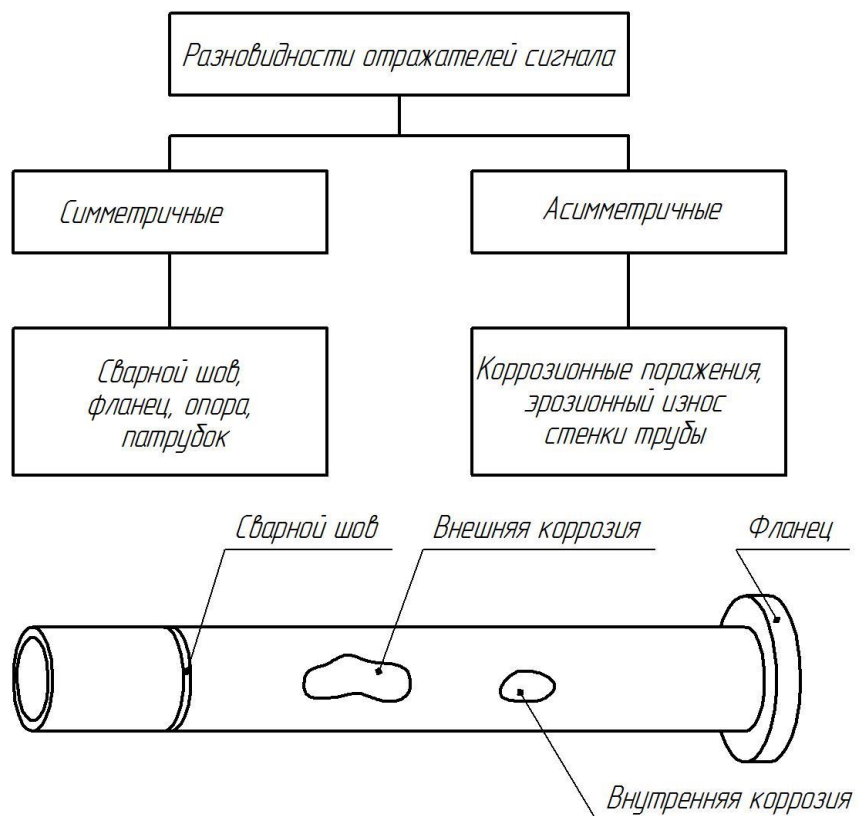


Рисунок 16 – Классификация отражателей на трубопроводе

Место трубы с повреждением является несимметричным отражателем сигнала. При отражении от такого места звукового сигнала происходит его конвертация, что становится признаком дефекта. При этом достоверность диагностики позволяет оценить величину потери стенки трубы от 10 %.

При обнаружении дефектов в сварном шве отражённый несимметричный сигнал совпадает с отражённым симметричным сигналом от сварного стыка труб.

2.3 Повышение чувствительности метода

Размеры дефекта могут быть определены по оценке амплитуды отражённого несимметричного сигнала. По мере уменьшения толщины стенки при её износе амплитуда отражённого сигнала увеличивается. По мере увеличения площади поражённого участка трубы увеличивается длительность отражённого эхо-сигнала. На рисунке 17 показано влияние потери толщины стенки трубы на амплитуду отражённого сигнала. При этом величина потери толщины стенки трубы выражается в процентном уменьшении площади её поперечного сечения.

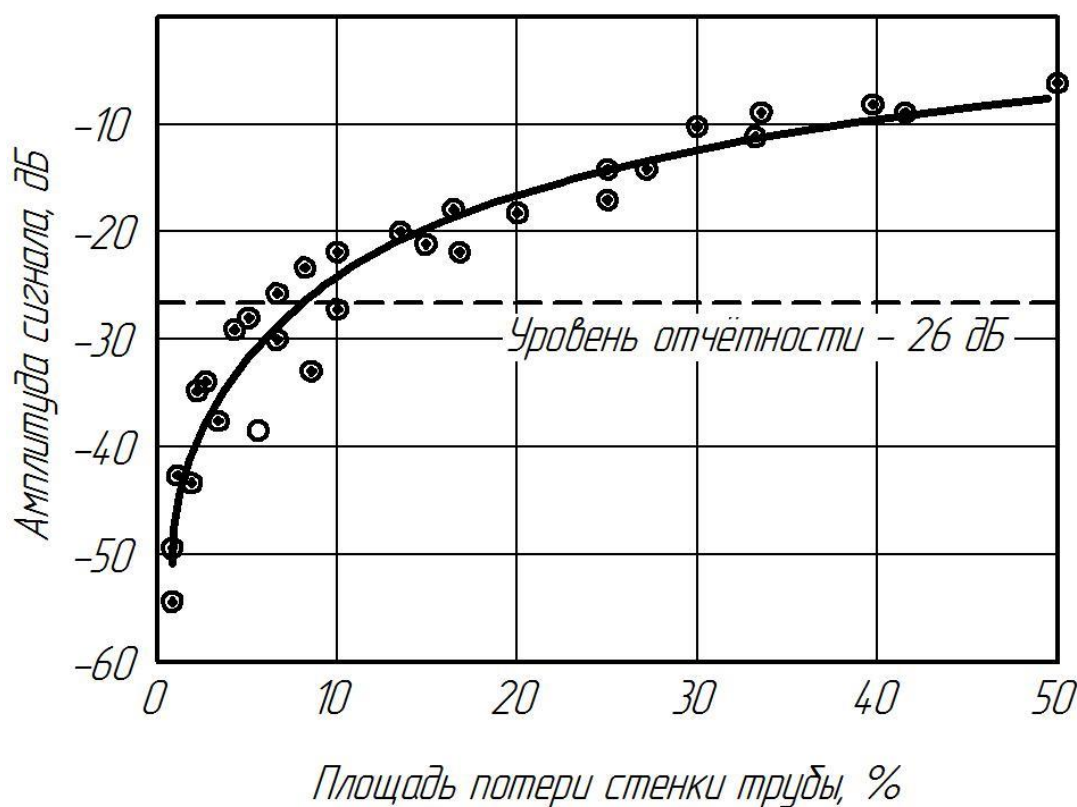


Рисунок 17 – амплитуда отражённого несимметричного сигнала в зависимости от потери толщины стенки трубы

При уменьшении площади поперечного сечения стенки трубы в диапазоне 3...9 % наблюдается самая высокая чувствительность метода. При увеличении степени поражения стенки трубы до 10...50 % чувствительность метода падает. Иными словами, при значительном поражении стенки трубы все отражённые сигналы будут иметь приблизительно одинаковые

параметры. Это позволяет оценить степень развития дефекта. На этапе зарождения повреждения оно будет своевременно обнаруживаться и отслеживаться вплоть до переход в критическое состояние.

В работах [8], [31] показана возможность эффективной диагностики потери стенки трубы менее 3 % исходной толщины.

Полученные результаты послужили основной для построения технологии диагностики состояния трубопроводов Teletest, которая применяется для дистанционного контроля. При этом установку излучателей выполняют в одной точки, от которой возможно проведение измерения состояния на значительную длину трубопровода. Отражённый сигнал принимается набором пьезопреобразователей, усиливается, очищается от помех и выводится на экран монитора, как это происходит при обычном ультразвуковом контроле. При этом временной диапазон измерения соответствует десяткам метров, а не сантиметрам, как при классическом ультразвуковом контроле [34].

На рисунке 18 представлен интерфейс программы, из которого видно, что выводимая на экран информация о дефектах по форме соответствует аналогичной информации на дисплее стандартного ультразвукового дефектоскопа.

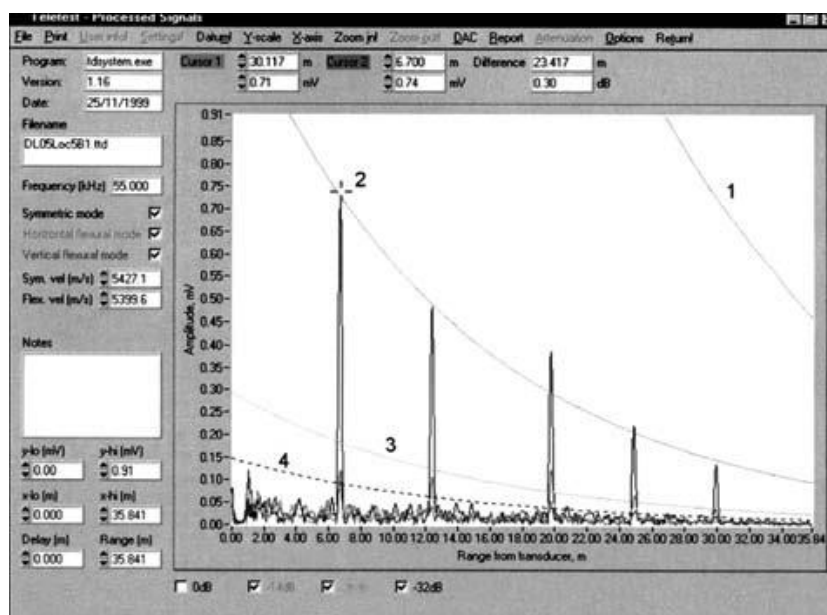


Рисунок 18 – Формат дисплея системы Teletest для трубы длиной 36 м

На экране монитора имеется четыре вида кривых, построение которых выполняется в системе координат «расстояние-амплитуда».

Первая кривая (уровень 0дБ) используется для настройки чувствительности. Такая кривая описывает отражённый сигнал от конца трубы или фланца, которые являются идеальными отражателями и становятся источниками неискажённого отражённого сигнала.

Вторая кривая (уровень -14 дБ) описывает симметричный сигнал, который был отражён от сварного стыка труб. Такой сигнал постепенно затухает тем сильнее, чем дальше расположен стык от излучателя. Уровень симметричного отражённого сигнала от первого сварного стыка примерно соответствует 20 % уровня сигнала от конца трубы или фланца. Такой сигнал используется для корректировки.

Третья кривая (уровень -26 дБ) описывает несимметричный сигнал, который получен в результате отражения от коррозионного дефекта с потерей толщины стенки трубы до 9 % от исходной площади. Уровень такого несимметричного сигнала примерно составляет 5 % уровня сигнала от конца трубы или фланца. По амплитуде сигнала можно судить о критичности обнаруживаемого дефекта. Если отражённый сигнал лежит в диапазоне -26...-14 дБ, дефект признаётся умеренным. Если отражённый сигнал имеет амплитуду меньше -26 дБ, то такой дефект признаётся незначительным. Если отражённый сигнал имеет амплитуду больше -14 дБ, то такой дефект может быть принят от умеренного до критического в зависимости от уровня сигнала.

Четвертая кривая (уровень -32 дБ) задаёт границы диапазона тестирования.

Во время диагностики на мониторе отображаются перечисленные диаграммы, описывающие отражённые сигналы. На рисунке 19 представлено, как они накладываются друг на друга и описывают состояние соответствующего участка трубопровода.

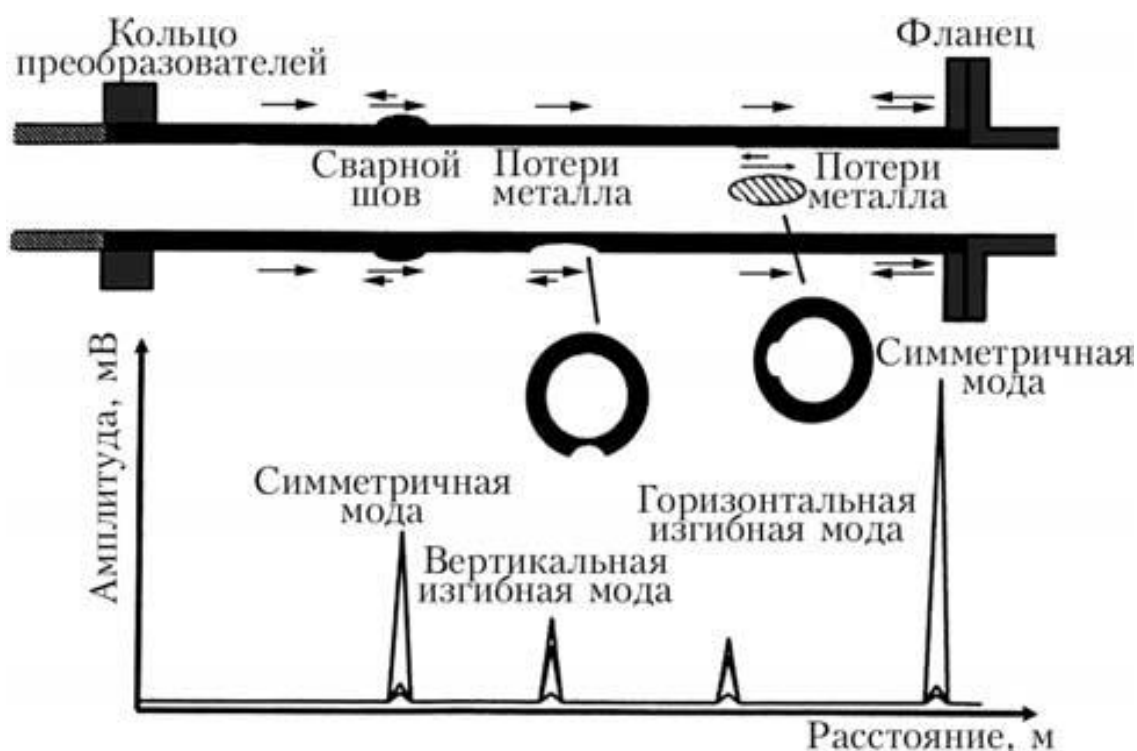


Рисунок 19 – Принцип отражения направленной волны от симметричных и асимметричных отражателей

Предоставляемое программное обеспечение позволяет в автоматическом режиме интерпретировать результаты измерений и выполнять оценку уровня повреждения стенки трубопровода.

2.4 Комплексная методика оценки состояния трубопровода

Недостатком описанной выше методики диагностики состояния магистрального трубопровода с применением дальнедействующего ультразвукового контроля является отсутствие прямо связи между уменьшением площади поперечного сечения трубы и утонением стенки трубы. Амплитуда отражённого от дефекта сигнала определяется главным образом уменьшением площади поперечного сечения трубы, а не остаточной толщиной стенки. В результате получаемая информация о дефектах позволяет оценить наличие дефекта, его расположение на стенке трубы и

площадь дефекта, но прямая информация об остаточной толщине стенки отсутствует.

Для точного определения остаточной толщины стенки трубопровода приходится применять другие методики, в частности, ультразвуковую толщинометрию. На рисунке 20 представлен алгоритм комплексной оценки состояния магистрального трубопровода с применением обеих методик.

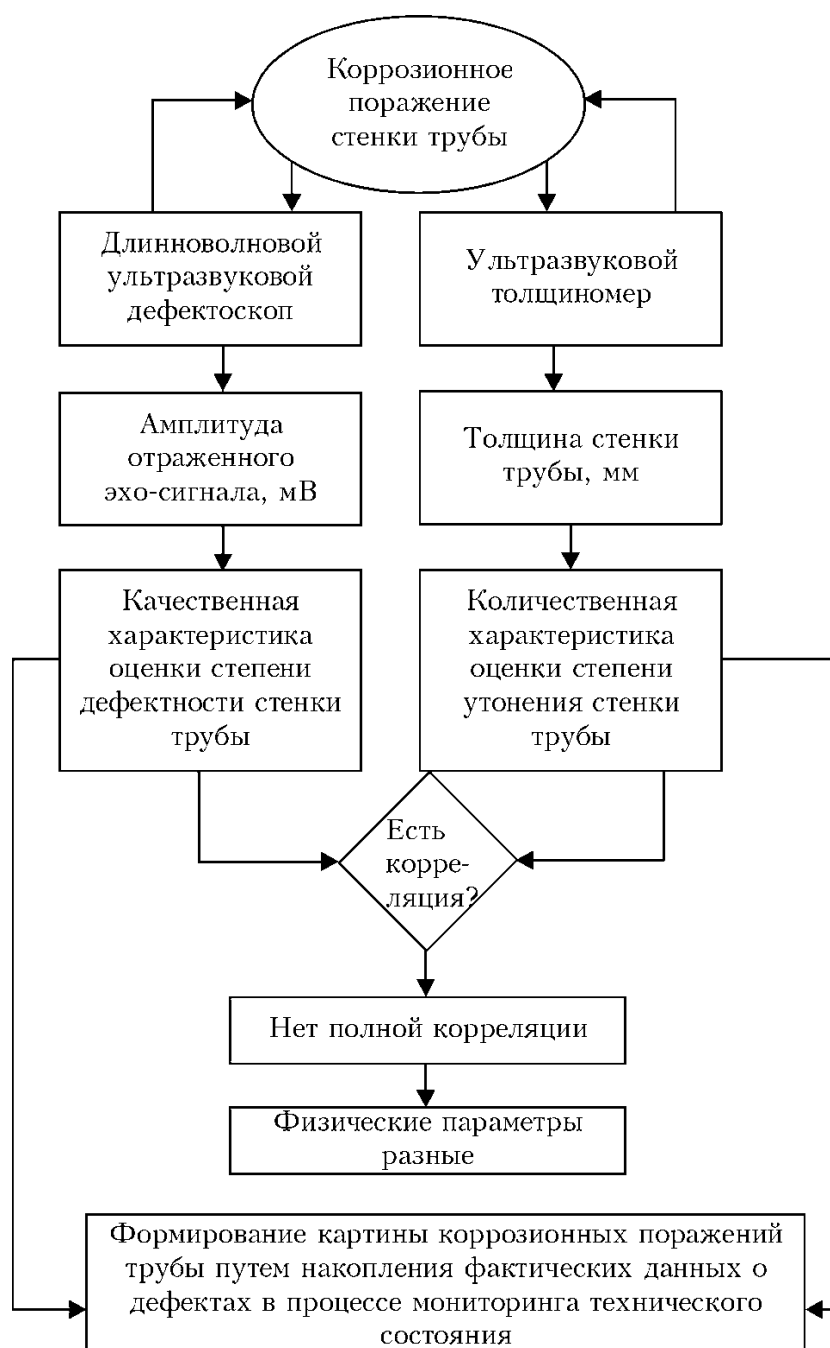


Рисунок 20 – Алгоритм комплексной оценки состояния магистрального трубопровода с применением обеих методик

При проведении исследований с использованием методов длинноволнового ультразвукового контроля определяют наличие и расположение дефектов по длине трубопровода, а также их критичность. Далее с использованием ультразвукового толщиномера уточняют толщины стенки трубы в месте залегания дефекта.

На рисунке 21 представлена методика проведения комплексной диагностики состояния длительно эксплуатируемого трубопровода [35].

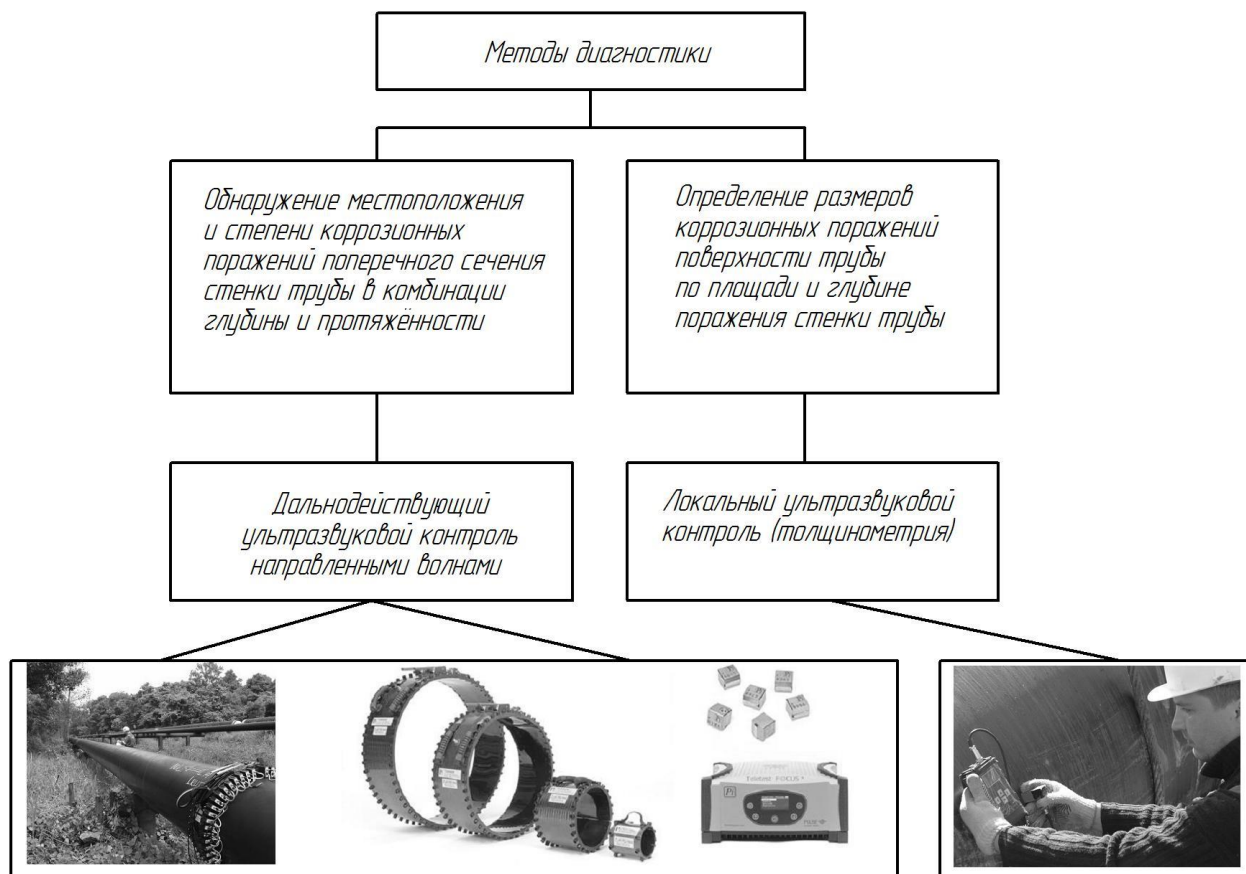


Рисунок 21 – Методика проведения комплексной диагностики состояния длительно эксплуатируемого трубопровода

После того, как в процессе дальнодействующего 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).

По результатам такой оценки следует задать зоны наблюдения, на которых будет вестись контроль состояния на протяжении всего срока эксплуатации трубопровода. По мере перехода дефекта по шкале «умеренный-серьёзный-критический» проводят мероприятия по исправлению дефектов.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [9] в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда. Следует составить перечень опасных и вредных производственных факторов, предложить мероприятия и технические средства для их уменьшения или устранения, дать рекомендации по снижению экологических рисков [2], [7].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство. Для этого следует рассчитать себестоимость производства при использовании базовой и проектной технологии, рассчитать и сравнить экономические показатели и сделать вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [11], [12].

3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности контроля состояния и ремонта длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Технология исправления коррозионного дефекта на магистральном трубопроводе укрупнённо может быть представлена как набор из пяти операций.

Особенности выполнения операций и применяемого технологического оборудования представлены в таблице 4.

На первой операции технологического процесса выполняют зачистку дефектного места. Для этого применяется машинка радиальная шлифовальная.

На второй операции технологического процесса проводят предварительный подогрев места ремонтной сварки. Для этого применяется набор газовых горелок и система подготовки газовой смеси.

На третьей операции технологического процесса выполняется заварка дефекта. Для этого применяется сварочный выпрямитель, формирователь импульсов, механизм подачи сварочной проволоки и система подготовки защитного газа.

На четвёртой операции технологического процесса выполняется механическая обработка места ремонтной сварки. Для этого применяется машинка угловая шлифовальная.

На пятой операции технологического процесса происходит контроль качества. Для этого применяется набор для проведения визуально-измерительного контроля и ультразвуковой дефектоскоп.

Таблица 4 – Технологический паспорт технического объекта

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования	Применяемые материалы и вещества
1. «Зачистка дефектного участка»	слесарь-сборщик	машинка радиальная шлифовальная	круг абразивный
2. Предварительный подогрев	термист	резак газопламенный	смесь пропан-бутановая
3. Заварка дефекта	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- выпрямитель сварочный ВД-306Ш, - машинка радиальная шлифовальная	сварочные электроды
4. Механическая обработка	слесарь-сборщик	машинка радиальная шлифовальная	круг абразивный
5. Контроль качества» [27]	дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю	ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i	масло

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Представленные в таблице 4 особенности выполнения операций технологического процесса позволят в дальнейшем идентифицировать опасные производственные факторы и предложить методы защиты от них.

3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

При проведении операций технологического процесса, который был разработан в ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы, возникают профессиональные и производственные риски,

источником которых являются опасные и вредные факторы. Наличие этих факторов обусловлено особенностями выполнения каждой операции технологического процесса, которые были рассмотрены выше. В таблице 5 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков.

Таблица 5 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
1. Зачистка дефектного участка	<ul style="list-style-type: none"> - 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
2. Предварительный подогрев	<ul style="list-style-type: none"> - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги
3. Заварка дефекта	<ul style="list-style-type: none"> - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
4. Механическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> - 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
5. Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования

В ходе оценки выделено семь негативных производственных факторов:

- 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,
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений.

Источником возникновения негативных производственных факторов является применяемое на участке технологическое оборудование: шлифовальная машина, набор для проведения предварительного подогрева, источник питания сварочной дуги, устройство формирования сварочных импульсов, механизм подачи сварочной проволоки, механизм подготовки смечи защитного газа, оборудование для проведения контроля качества сварки.

Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании ранее представленных в таблице 5 данных.

При этом следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии.

Дальнейшие работы в этом направлении предусматривают обоснование выбора стандартных методик и технических средств. В крайнем случае, необходимо будет предусмотреть разработку специализированных методик.

3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков

Ранее выполненная идентификация профессиональных рисков, представленная в таблице 5, позволяет выработать решения по обеспечению безопасности производственного процесса, которые представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса	Перечень организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих устранение вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски

Представленные в таблице 6 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса.

3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

При выполнении операций предлагаемого проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов существует опасность возникновения пожара. В первую очередь это связано с тем, что сварочные и наплавочные работы являются источником высокой температуры и излучения. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 7.

Таблица 7 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сборка и сварка
Наименование оборудования	шлифовальная машина, набор для проведения предварительного подогрева, источник питания сварочной дуги, устройство формирования сварочных импульсов, механизм подачи сварочной проволоки, механизм подготовки смечи защитного газа, оборудование для проведения контроля качества сварки.
Классификация по виду горящего вещества	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	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.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

На основании данных таблицы 7 возможный пожар, который может произойти на рассматриваемом производственном участке, относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения.

Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха, открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе.

Вследствие наличия негативных факторов при возникновении пожара возможно появление вторичных хлопков, локального задымления, промышленные здания могут приобретать отрицательную устойчивость.

Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к которым относят нарушение целостности изоляции и порчу электрического оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами.

В таблице 8 приведены технические средства по устранению факторов пожара.

Таблица 8 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Не применяется
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарная сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Пожарная безопасность рассматриваемого производственного участка обеспечивается а счёт применения различных технических средств. В качестве первичных средств тушения применяются: огнетушители, ящик с песком, кошма. В качестве средств индивидуальной защиты применяется план эвакуации. В качестве пожарного инструмента применяется топор, багор и лопата. В качестве средств оповещения применяются речевые, световые и звуковые оповещатели.

Предложенные в настоящем разделе технические средства и мероприятия позволяют максимально снизить риск возникновения пожара и своевременно устранить негативные факторы при его возникновении.

3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности

При разработке настоящей выпускной квалификационной работы следует принимать во внимание, что реализация предлагаемых технических решений приводит к возникновению негативного антропогенного действия на окружающую среду. Следование мировой экологической повестки заставляет современное предприятие проводить мероприятия по обеспечению экологической безопасности производственных процессов. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы.

В таблице 9 приведены негативные воздействия на окружающую среду, которые возникают при выполнении операций проектного технологического процесса.

На основании анализа данных в таблице 9 могут быть предложены технические средства и организационные мероприятия, применение которых позволит устранить влияние на окружающую среду негативного антропогенного фактора или уменьшить его влияние до приемлемого уровня. Предлагаемые средства для этого представлены в таблице 10 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 9 – Идентификация негативных экологических факторов

Операция	атмосфера	гидросфера	литосфера
1. Зачистка дефектного участка	-	-	частицы упаковки, бытовой мусор
2. Предварительный подогрев	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
3. Заварка дефекта	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
4. Механическая обработка	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
5. Контроль качества	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 10 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [2]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [2]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [2]

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений

4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении контроля состояния и ремонта длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Технология исправления коррозионного дефекта на магистральном трубопроводе укрупнённо может быть представлена как набор из пяти операций. На первой операции технологического процесса выполняют зачистку дефектного места. Для этого применяется машинка радиальная шлифовальная. На второй операции технологического процесса проводят предварительный подогрев места ремонтной сварки. Для этого применяется набор газовых горелок и система подготовки газовой смеси. На третьей операции технологического процесса выполняется заварка дефекта. Для этого применяется сварочный выпрямитель, формирователь импульсов, механизм подачи сварочной проволоки и система подготовки защитного газа. На четвёртой операции технологического процесса выполняется механическая обработка места ремонтной сварки. Для этого применяется машинка угловая шлифовальная. На пятой операции технологического процесса происходит контроль качества. Для этого применяется набор для проведения визуально-измерительного контроля и ультразвуковой дефектоскоп.

В таблице 11 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии сборки и сварки с учётом рыночной стоимости используемого оборудования и вспомогательных затрат.

Таблица 11 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономическо го показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	450 тыс.	2450 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,85	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ m^2	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [12]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие расчёты с использованием представленных выше данных предполагают оценку затрат на осуществление технологического процесса по проектному и базовому вариантам.

4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

При выполнении операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса происходит работа оборудования в течение заданного времени. Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. Также следует принимать во внимание, что время работы оборудования позволяет рассчитать амортизационные отчисления и затраты на производственные площади. В проектом технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

Количество рабочих дней для одного года принимаем равным $D_p=277$, при этом продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. Также следует принимать во внимание уменьшение рабочей смены на величину $T_{п}=1$ час в предпраздничные дни, количество которых для одного календарного года составляет $D_{п}=7$ дней. Для количества рабочих смен $K_{см}=1$ рассчитываем годовой фонд времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$ часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени $V=7\%$:

$$F_э = F_H(1 - V/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$ часов.

4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии

Величину штучного времени, которое будет затрачиваться на выполнение операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса, рассчитываем с учётом нормирования труда по выполняемым операциям согласно технологической карте. Штучное время $t_{шт}$ включает в себя затраты времени на выполнение основных операций проектного и базового технологического процессов (машинное время $t_{маш}$), подготовительных и вспомогательных операций (вспомогательное время $t_{всп}$), личный отдых (время отдыха $t_{отд}$), подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$ и времени на мелкий ремонт и обслуживание оборудования (время обслуживания $t_{обсл}$):

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $t_{шт.баз} = 48 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 58,1$ часов и $t_{шт.проектн.} = 7 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 8,5$ часа.

Размер годовой программы $\Pi_{г}$ рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

$$\Pi_{г} = F_{э} / t_{шт} . \quad (4)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\Pi_{г.баз.} = 2054/58,1 = 35$ км трубопровода за год для базового технологического процесса и $\Pi_{г.пр.} = 2054/8,5 = 242$ км трубопровода за год для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности отрасли в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии $\Pi_{г} = 70$ км трубопроводов в год.

Требуемое количество технологического оборудования определяем с учётом ранее рассчитанного штучного времени для проектного варианта технологии и базового варианта технологии. При этом следует учесть коэффициент выполнения нормы $K_{вн} = 1,03$. Выполняем расчёт:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot \Pi_{г} / (F_{э} \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $n_{расч} = 58,1 \cdot 70 / (2054 \cdot 1,03) = 1,9$ для базового варианта технологического процесса; $n_{расч} = 38,5 \cdot 70 / (2054 \cdot 1,03) = 0,2$ для проектного варианта технологического процесса.

В дальнейшем при выполнении экономических расчётов количество оборудования для выполнения операций базового технологического процесса принимаем $n=2$. Количество оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса принимаем $n=1$. На основании этого выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования $K_з$ для базового и проектного вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $K_з = 1,92/2 = 0,96$ для базового варианта технологического процесса и $K_з = 0,2/1 = 0,2$ для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования $K_з$ для проектного и базового вариантов технологического процесса в дальнейшем понадобятся для расчёта капитальных затрат на построение технологии.

При расчётах следует принимать во внимание, что производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается количество используемого оборудования.

4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам

Выполнение операций проектного технологического процесса и операций базового технологического процесса происходят с применением расходных материалов, затраты на которые рассчитываются в зависимости от коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$, цены материалов C_M и нормы расходов материалов N_p по формуле:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $M=500$ руб/кг \cdot 50 кг \cdot 1,05 = 26250 рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса: $M= 500$ руб/кг \cdot 50 кг \cdot 1,05 = 26250 рублей.

Величина основной заработной платы рассчитывается на основании штучного времени $t_{шт}$, часовой тарифной ставки $C_ч$ и коэффициента доплат K_d , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_d = 1,88$:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_d . \quad (8)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{осн} = 58,1 \cdot 200 \cdot 1,88 = 21826$ рублей для базового варианта технологического процесса и $Z_{осн} = 8,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 3185$ рублей для проектного варианта технологического процесса.

Величина дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ рассчитывается в зависимости от рассчитанной выше основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента доплат $K_{доп}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{доп} = 12 \%$:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot K_{доп} / 100 . \quad (9)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{доп} = 21826 \cdot 12 / 100 = 2619$ рублей для операций

базового технологического процесса и $Z_{\text{доп}} = 3185 \cdot 12 / 100 = 382$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$. Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\text{ФЗП} = 21826 + 2619 = 24445$ рублей для операций базового технологического процесса и $\text{ФЗП} = 3185 + 382 = 3567$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ рассчитываем с учётом коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{\text{сн}} = 34 \%$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $O_{\text{сн}} = 24445 \cdot 34 / 100 = 7333$ рублей для операций базового технологического процесса и $O_{\text{сн}} = 3567 \cdot 34 / 100 = 1070$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величину затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ определяем расчётным путём на основании амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (11)$$

При вычислении амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ следует учитывать норму амортизации H_a , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет $H_a = 21,5 \%$. Также в расчёт включено машинное время $t_{\text{маш}}$, которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования F_3 и цена оборудования $\Pi_{\text{об}}$.

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot H_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $A_{об.} = 450000 \cdot 21,5 \cdot 58,1 / 2054 / 100 = 2734$ рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии: $A_{об.} = 2450000 \cdot 21,5 \cdot 8,5 / 2054 / 100 = 2172$ рублей.

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций по проектному технологическому процессу рассчитываются с учётом мощности оборудования $M_{уст.}$, КПД оборудования, машинного времени $t_{маш}$ и стоимости электрической энергии для предприятий $Ц_{ээ}$:

$$P_{ээ} = M_{уст.} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ} / КПД. \quad (13)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $P_{ээ} = 58,1 \cdot 25 \cdot 3,2 / 0,7 = 6640$ рублей для базового варианта технологического процесса, $P_{ээ} = 8,5 \cdot 40 \cdot 3,2 / 0,7 = 1554$ рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование: $Z_{об} = 2734 + 6640 = 9374$ рублей по базовому технологическому процессу и $Z_{об} = 2172 + 1554 = 3762$ рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости $C_{тех}$ определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы M , отчислений на социальные нужды $O_{сн}$, фонда заработной платы $ФЗП$ и затрат на оборудование $Z_{об}$:

$$C_{тех} = M + ФЗП + O_{сн} + Z_{об}. \quad (14)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{тех} = 26250 + 24445 + 7333 + 9374 = 67402$ рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса $C_{тех} = 26250 + 3567 + 1070 + 3762 = 34649$ рублей.

Размер цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ определяется исходя из ранее определённой технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (15)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{цех}}=67402 + 1,5 \cdot 21826 = 67402 + 32739 = 100114$ рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса $C_{\text{цех}}=34649 + 1,5 \cdot 3185 = 34649 + 4778 = 39427$ рублей.

Размер заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ определяется исходя из ранее определённой цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, коэффициента заводских расходов и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (16)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{зав}} = 100114 + 1,15 \cdot 21826 = 100114 + 25100 = 125241$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса $C_{\text{зав}} = 39427 + 1,15 \cdot 3185 = 39427 + 3663 = 43090$ рублей.

В таблице 12 представлена калькуляция заводской стоимости выполнения операций по базовому варианту технологического процесса и проектному варианту технологического процесса.

Таблица 12 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	<i>M</i>	26250	26250
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	24445	3567
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	7333	1070
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	9374	3762
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	67402	34649
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	32739	4778
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	100114	39427
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	25100	3663
9. Заводская себестоимость» [12]	<i>Сзав</i>	125241	43090

Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии. Далее будут вычислены экономические показатели предлагаемых решений и сделан вывод об эффективности внедрения этих решений в производственный процесс.

4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии

Вычисляем капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ на реализацию технологического процесса по базовому варианту. Расчёт следует выполнять с учётом коэффициента загрузки оборудования K_p и остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об. б.}}$.

Величину остаточной стоимости оборудования определяем с учётом рыночной стоимости аналогичного нового оборудования $\Pi_{\text{перв.}}$, срока службы оборудования $T_{\text{сл}}$ и нормы амортизационных отчислений N_a :

$$\Pi_{\text{об. б.}} = \Pi_{\text{перв.}} - (\Pi_{\text{перв.}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot N_a / 100). \quad (17)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_{\text{об. б.}} = 450000 - (450000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 256500$ рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об. б.}} \cdot K_{з. б.} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{общ. б.}} = 2 \cdot 256500 \cdot 0,96 = 492480$ рублей.

Расчёт капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, сопутствующих затрат $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об. пр.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (19)$$

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило $K_{ТЗ}=1,05$, цены оборудования $\Pi_{об}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_з$:

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{ТЗ} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{об.пр.} = 2450000 \cdot 1,05 \cdot 0,23 = 591675$ рублей.

Величина сопутствующих затрат $K_{соп}$ рассчитывается с учётом расходов на демонтаж $P_{дем}$ оборудования по базовому технологическому процессу и монтаж $P_{мон}$ оборудования по проектному технологическому процессу.

Расходы на демонтаж с учётом коэффициента расходов на демонтаж оборудования $K_{дем} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{дем} = \Pi_{об. б.} \cdot K_{д.} \quad (21)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{дем} = 2 \cdot 450000 \cdot 0,05 = 45000$ рублей.

Расходы на монтаж с учётом коэффициента расходов на монтаж оборудования $K_{мон} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{монт} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{м.} \quad (22)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{монт} = 2450000 \cdot 0,05 = 122500$ рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

$$P_{соп} = P_{дем} + P_{монт.} \quad (23)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{соп} = 45000 + 122500 = 167500$ рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}} = 591675 + 167500 = 759175$ рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$ проводим с учётом капитальных затрат для проектной технологии $K_{\text{общ. пр}}$ и капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ. пр}} - K_{\text{общ. б}} \quad (24)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{доп}} = 759175 - 492480 = 266695$ рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы Π_r :

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_r \quad (25)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{уд}} = 492480/70 = 7035$ руб./ 1 км трубопровода по базовой технологии и $K_{\text{уд}} = 759175/70 = 10845$ руб./ 1 км трубопровода по проектной технологии.

Применение более сложного оборудования при реализации проектной технологии по сравнению с базовой технологией заставляет считаться с капитальными затратами, эффективность которых будет оценена далее.

4.6 Показатели экономической эффективности

Для выполнения экономического обоснования настоящей выпускной квалификационной работы рассчитаем основные показатели эффективности.

Снижение трудоемкости $\Delta t_{\text{шт}}$ рассчитывается как

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт б}} - t_{\text{шт пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт б}} \quad (26)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta t_{\text{шт}} = (58,1 - 8,5) \cdot 100 \% / 58,1 = 85 \%$.

Повышение производительности Π_r рассчитывается как

$$П_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}). \quad (27)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $П_T = 100 \cdot 85 / (100 - 85) = 567 \%$.

Уменьшение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ рассчитывается как

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} \quad (28)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta C_{тех} = (67402 - 34649) \cdot 100\% / 67402 = 49 \%$.

Размер условно-годовой экономии $П_{ож}$ рассчитывается как

$$П_{ож} = \mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot П_T. \quad (29)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $П_{ож} = (125241 - 43090) \cdot 70 = 5750570$ рублей.

Длительность срока окупаемости предлагаемых мероприятий $T_{ок}$ составляет:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг}. \quad (30)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $T_{ок} = 266695 / 5750570 = 0,1$ года.

Величина годового экономического эффекта $\mathcal{E}_г$ рассчитывается как

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп}. \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\mathcal{E}_г = 5750570 - 0,33 \cdot 266695 = 5662561$ руб.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 567 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 49 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 5,66 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,1 года.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении контроля состояния и ремонта длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов.

Объектом исследования в настоящей выпускной квалификационной работе выступает стареющий магистральный трубопровод диаметром 1024 мм, выполненный из стали 17Г1С-У.

При анализе литературных данных по статистике аварий на магистральных трубопроводах показано, что самым распространённым видом дефекта является коррозионное поражение труб. Технология заварки дефекта предусматривает определение границ дефектного участка, выборка дефектного участка с применением пневматической шлифовальной машины, предварительный подогрев, заплавление выборки с применением ручной дуговой сварки, зачистку поверхности заплавленного места, контроль качества.

Технология исправления коррозионного дефекта на магистральном трубопроводе укрупнённо может быть представлена как набор из пяти операций. На первой операции технологического процесса выполняют зачистку дефектного места. Для этого применяется машинка радиальная шлифовальная. На второй операции технологического процесса проводят предварительный подогрев места ремонтной сварки. Для этого применяется набор газовых горелок и система подготовки газовой смеси. На третьей операции технологического процесса выполняется заварка дефекта. Для этого применяется сварочный выпрямитель, формирователь импульсов, механизм подачи сварочной проволоки и система подготовки защитного газа. На четвёртой операции технологического процесса выполняется механическая обработка места ремонтной сварки. Для этого применяется машинка угловая шлифовальная. На пятой операции технологического

процесса происходит контроль качества. Для этого применяется набор для проведения визуально-измерительного контроля и ультразвуковой дефектоскоп.

При анализе опасных и вредных производственных факторов, которые сопровождают выполнение операций проектного технологического процесса, идентифицированы негативные производственные факторы, предложены технические средства и организационные мероприятия по защите от них.

Выполнена оценка проектной технологии на предмет обеспечения экологической безопасности. Предложены организационные мероприятия по защите окружающей среды от возникающих при реализации проектной технологии негативных антропогенных факторов.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 567 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 49 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 5,66 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,1 года.

Таким образом, внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений в производство позволяет получить доказанный расчётным путём экономический эффект. Доказана экономическая и технологическая эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель выпускной квалификационной работы достигнутой.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют строительство и ремонт магистральных трубопроводов.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Абакумов А. А. Магнитная диагностика газонефтепроводов. М. : Энергоатомиздат, 2001. 315 с.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
3. Бут В. С., Олейник О. И. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 42–50.
4. Варламов Д. П., Канайкин В. А., Матвиенко А. Ф. Анализ стресс-коррозионной дефектности магистральных газопроводов. Екатеринбург, 2010. 190 с.
5. Варламов Д. П., Канайкин В. А., Матвиенко А. Ф. Мониторинг дефектности магистральных газопроводов. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 120 с.
6. 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.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Икэда Т., Канэхара Р., Миядзава М. Техника контроля направленными волнами для эксплуатационного контроля заводских трубопроводов // Hinakai Kensa. 2005. № 11. Р. 595–599.
9. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
10. Корчемкин А. Е. Современное состояние сварки магистральных трубопроводов // Записки горного института. 2004. № 7. С. 175–177.

11. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
12. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
13. Лисанов М. В., Савина А. В., Дегтярев Д. В. Анализ российских и зарубежных данных по аварийности на объектах трубопроводного транспорта // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 7. С. 16–22.
14. Лисин Ю. В. Совершенствование методов подготовки и проведения капитального ремонта магистральных нефтепроводов: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва: АК «Транснефть». 1999.
15. Мазур, И.И. Иванцов О. М. Безопасность трубопроводных систем. М.: ИЦ «Елина», 2004. – 1104 с.
16. Недосека А. Я., Недосека С. А. Об оценке надёжности эксплуатирующихся конструкций // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2010. № 2. С. 7–17.
17. Поляков С. Г., Ныркова Л. И., Мельничук С.Л. Диагностика коррозионного состояния внутренней поверхности магистрального нефтепровода // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 24–28.
18. Поляков С.Г., Ныркова Л.И., Мельничук С.Д. Методический подход к изучению внутренней коррозии магистральных нефтепроводов // Физ.-хим. мех. материалов. 2008. № 7. С. 756–760.
19. Прусенко Б. Е., Мартынюк В. Ф. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте. М. : ООО «Анализ опасностей», 2003. 352 с.
20. Салюков В. В., Харионовский В. В. Магистральные газопроводы. Диагностика и управление техническим состоянием. М. : Недра, 2016. 213 с.

21. Сараев Ю. Н., Безбородов, В. П., Тютев А. В. Влияние режима сварки на формирование структуры и свойства сварных соединений // Обработка металлов. 2005. № 1. С. 25–26.

22. Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Тютев А. В. Повышение механических свойств и структура неразъемных соединений труб нефте- и газопроводов из низколегированных марганцовистых сталей после импульсной сварки // Технология машиностроения. 2003. № 6. С. 41–44.

23. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.

24. Сумской С. И., Пчельников А. В., Шанина Е. Л. Анализ риска аварий на магистральном трубопроводе, транспортирующем широкую фракцию легких углеводородов // Безопасность труда в промышленности. 2007. № 2. С. 48–52.

25. Трепова С. Ю., Безбородов В. П., Тютев А. В. Влияние режима импульсной сварки на структуру и свойства сварных соединений марганцовистых сталей // Известия Томского политехнического университета. 2004. № 6. С. 102–104.

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

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

28. Харионовский В. В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. М. : Недра, 2000. 467 с.

29. Харионовский В. В. Работоспособность газопроводов с большими сроками эксплуатации // Газовая промышленность. 2017. № 5. С. 56–61.

30. Шевченко А. А., Семенова Е. С., Шабурова Н. А. Определение причин низкой ударной вязкости кольцевого сварного шва // Вестник ЮУрГУ, серия «Металлургия». 2019. Т. 19. № 2. С. 63–70.

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

32. Gao Y., Zhao H., Zhang H. The application of automatic welding technology in West-to-East gas pipeline project // Oil Gas Storage Transport. 2003. vol. 22. P. 53–55.

33. Huilin Z., Changjiang W., Xuemei Y. Automatic welding technologies for long-distance pipelines by use of all-position self-shielded flux cored wires // Natural Gas Industry. 2014. № 1. P. 113–118.

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

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

36. Wang R., Ruijie G. Developments of automatic girth welding technology in pipelines // Electric Welding Machine. 2011, № 9, P. 53-55