

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 исправления коррозионных дефектов
магистральных трубопроводов»

Студент

А.С. Боле

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д-р техн. наук, профессор В.В. Ельцов

(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

В настоящее время средний возраст нефтепроводов и газопроводов превышает 30 лет, при этом в резервуарном парке более 70 % конструкций уже выработало свой плановый ресурс.

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологи ремонтной сварки магистральных трубопроводов. В соответствии с базовой технологией ремонтная сварка трубопровода выполняется с применением ручной дуговой сварки штучными электродами.

На основании проведённого анализа возможных способов ремонтной сварки трубопровода принято решение о замене ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку в защитном газе. За счёт замены способа сварки и применения импульсного управления сварочной дугой предполагается получить снижение трудоемкости сварки и повышение качества сварочных швов.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи: 1) произвести анализ альтернативных способов ремонтной сварки магистральных трубопроводов и обосновать выбор наиболее эффективного способа сварки; 2) выполнить обоснованный выбор оптимальных параметров режима сварки, сварочных материалов и оборудования; 3) составить проектную технологию ремонтной сварки, с привлечением современных достижений сварочной науки и техники.

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

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 4,28 млн. рублей.

Содержание

Введение	5
1 Состояние вопроса исправления коррозионных дефектов магистральных трубопроводов	7
1.1 Описание изделия и дефектов	7
1.2 Сведения о материале изделия	11
1.3 Базовая технология ремонтной сварки	13
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	19
2 Проектная технология исправления коррозионных дефектов магистральных трубопроводов	20
2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки	20
2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения	24
2.3 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки трубопровода	27
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	36
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
4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам	53
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений	57
Заключение по экономическому разделу	59
Заключение	61
Список используемой литературы	62

Введение

В числе основных причин аварий, произошедших на магистральных трубопроводах, на основании анализа статистических данных [1, 2] можно назвать «строительные» и «эксплуатационные». При этом условная группа «строительных» причин обусловлена нарушениями при выполнении строительно-монтажных работ, а в основе «эксплуатационных» причин лежат коррозионные дефекты, образовавшиеся в результате длительной эксплуатации трубопровода.

Проявление строительных дефектов, в том числе и разрушение линейной части, наиболее вероятно на начальном периоде эксплуатации трубопровода [2]. В ходе длительной эксплуатации трубопровода доля строительных дефектов в причинах аварийной остановки трубопровода снижается, и растёт доля коррозионных дефектов.

В наследство от бывшего Советского Союза российскому режиму достался значительный фонд металлических конструкций и сооружений, в том числе и трубопроводы большой протяжённости. Существенная часть этих конструкций была построена ещё до Перестройки, в настоящий момент эти конструкции находятся в стадии «старения» (или даже «дряхления»). В перспективе ожидается катастрофический рост числа их отказов из-за накопления повреждаемости, вследствие прохождения деградационных процессов в металле и коррозии.

В настоящее время средний возраст нефтепроводов и газопроводов превышает 30 лет, при этом в резервуарном парке более 70 % конструкций уже выработало свой плановый ресурс [2, 3].

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].

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 [4...7].

В результате естественного старения магистральных трубопроводов происходит снижение надёжности их эксплуатации на фоне увеличения числа аварий [5]. Длительная эксплуатация магистрального трубопровода предполагает воздействие на него окружающей среды, различных термических и механических нагрузок, в результате которых возникают эрозионно-коррозионные процессы. Как показывает многолетняя практика эксплуатации магистральных трубопроводов, их отказ после 20 лет эксплуатации происходит, в основном, по причине язвенной коррозии [6, 7].

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологии ремонтной сварки на магистральных трубопроводах при заварке коррозионных дефектов.

Цель – повышение производительности и качества исправления коррозионных дефектов на длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводах.

1 Состояние вопроса исправления коррозионных дефектов магистральных трубопроводов

1.1 Описание изделия и дефектов

На протяжении всей эксплуатации магистрального трубопровода от ввода в эксплуатацию до его замены существует постоянная опасность аварийного отказа. При этом интенсивность отказов, выраженная в количестве аварий в год на единицу долины трубопровода, в течение длительной эксплуатации изменяется по известной [8] зависимости (рис. 1.1).

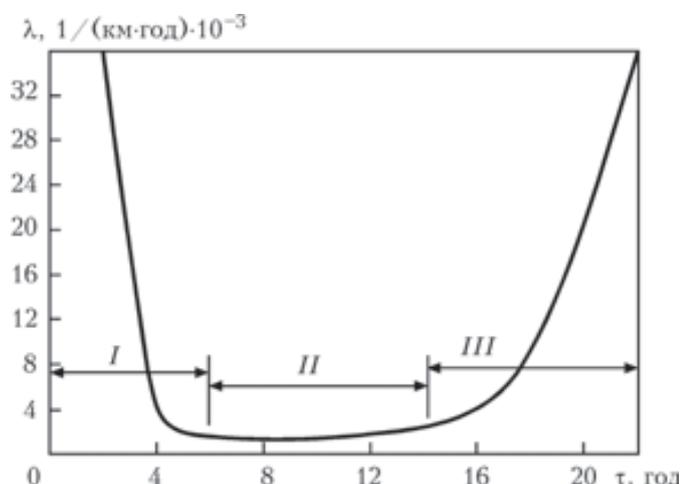


Рисунок 1.1 – Зависимость удельного показателя интенсивности отказов от сроков эксплуатации магистральных нефтепроводов [8]

В зависимости от продолжительности τ эксплуатации магистрального трубопровода, показатель интенсивности отказов λ (вычисляется как количество аварий на 1000 км в год) может находиться в одной из трёх зон (I...III периодов):

– на первом периоде (зона I) происходит приработка элементов трубопровода. Этот период характеризуется относительно большим числом отказов, при этом интенсивность отказов постоянно снижается по мере выявления и исправления строительных дефектов и недостатков проектирования трубопровода;

- на втором периоде (зона II) происходит нормальная работа трубопровода, характеризующаяся его установившимся износом и незначительным повышением интенсивности отказов к концу второго периода;
- на третьем этапе (зона III) интенсивности отказов трубопровода многократно возрастает. Это объясняется протеканием деградиционных процессов в металле труб и защитных покрытиях, коррозией.

Описанная закономерность износа трубопровода и изменения интенсивности отказа его линейной части характерна как для магистральных газопроводов, так и магистральных нефтепроводов, а также других объектов нефтегазового комплекса [9].

Вероятность возникновения аварийной ситуации на производственных объектах может быть охарактеризована техническим риском. Технические риски должны быть в первую очередь учтены при проектировании и эксплуатации трубопроводных систем [10]. Принимаемые меры позволили существенно уменьшить интенсивность отказов на трубопроводах и повысить их безопасность [11]. Тем не менее, следует учитывать, что общая протяжённость трубопроводов увеличивается, поэтому, хоть и количество аварий на единицу длины уменьшается, общее количество аварий будет непрерывно расти.

В результате проведённого анализа причин аварий на российских магистральных трубопроводах (рис. 1.1) установлено, что на долю брака при строительном-монтажных работах приходится всего: для нефтепроводов – 25 % , для газопроводов – 23 % отказов [12, 13]. Аналогичная ситуация возникает и при эксплуатации магистральных трубопроводов нашими европейскими партнёрами (рис. 1.1).

Обобщённая зависимость интенсивности отказов от длительности эксплуатации трубопровода является сложной кривой, на которой могут быть отмечены характерные участки (рис. 1.2). Первый участок (I) – соответствует периоду приработки элементов трубопровода после его ввода в эксплуатацию. Второй участок (II) – соответствует установившемуся износу

в течение всего периода нормальной эксплуатации трубопровода. Третий участок (III) – соответствует периоду естественного старения трубопровода.

Продолжительность первого участка (I) может изменяться в зависимости от качества выполнения строительно-монтажных работ и правильности проектирования трубопровода. В процессе начальной эксплуатации под нагрузкой происходит быстрое проявление полученных при строительстве трубопровода дефектов. Выявление и устранение этих дефектов приводит к тому, что через некоторое время практически не остаётся элементов с дефектами, и к началу второго участка (II) периода эксплуатации трубопровод подходит с бездефектными элементами. Эксплуатация бездефектных элементов на втором интервале (II) происходит относительно пологий рост интенсивности отказов в течение всего этапа эксплуатации. На третьем участке (III) периода эксплуатации происходит резкое увеличение интенсивности отказов. Это объясняется старением линейной части и элементов трубопровода. При этом значительную часть среди причин отказов составляют именно коррозионные дефекты линейной части, количество которых по мере продолжительной эксплуатации трубопровода постоянно растёт.

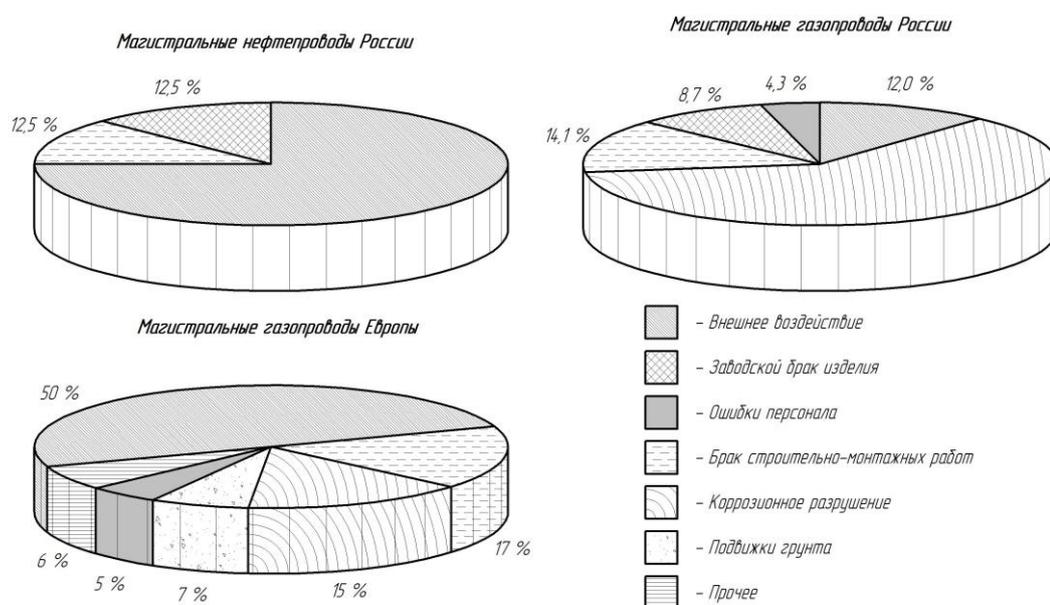
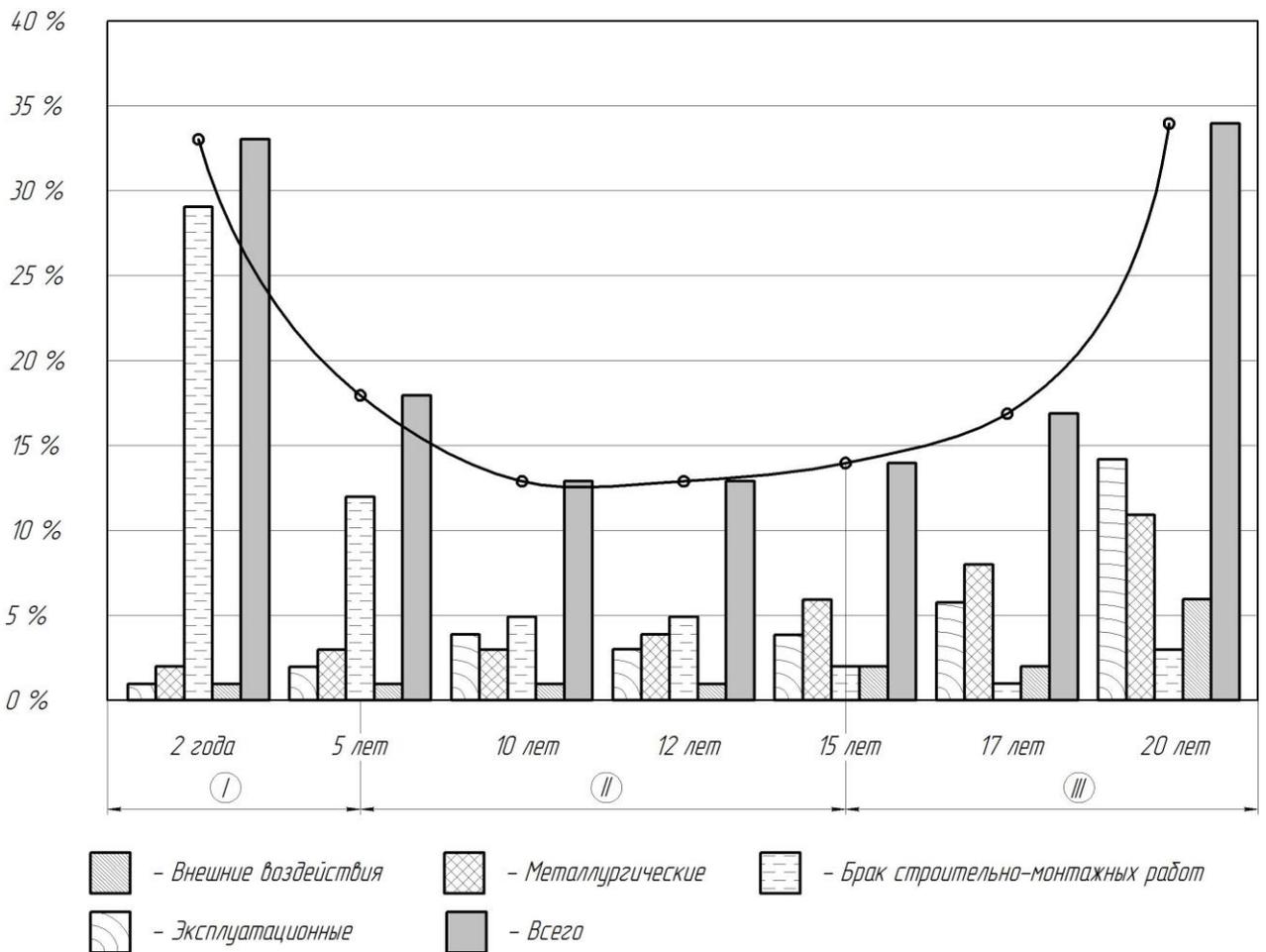


Рисунок 1.1 – Классификация причина отказов на магистральных трубопроводах России и Европы



I - период приработки элементов; II – период нормальной эксплуатации объектов;
 III – период естественного старения

Рисунок 1.2 – Частота и причины отказов магистральных газопроводов в зависимости от длительности эксплуатации

По результатам металлографического исследования шлифов [14, 15] выявлены закономерности разрушения труб в результате длительной эксплуатации. По мере старения линейной части трубопровода, в её элементах происходит зарождение, накопление и рост дефектов, при этом в зависимости от длительности периода эксплуатации часть дефектов выходит за пределы допуска (рис. 1.3)

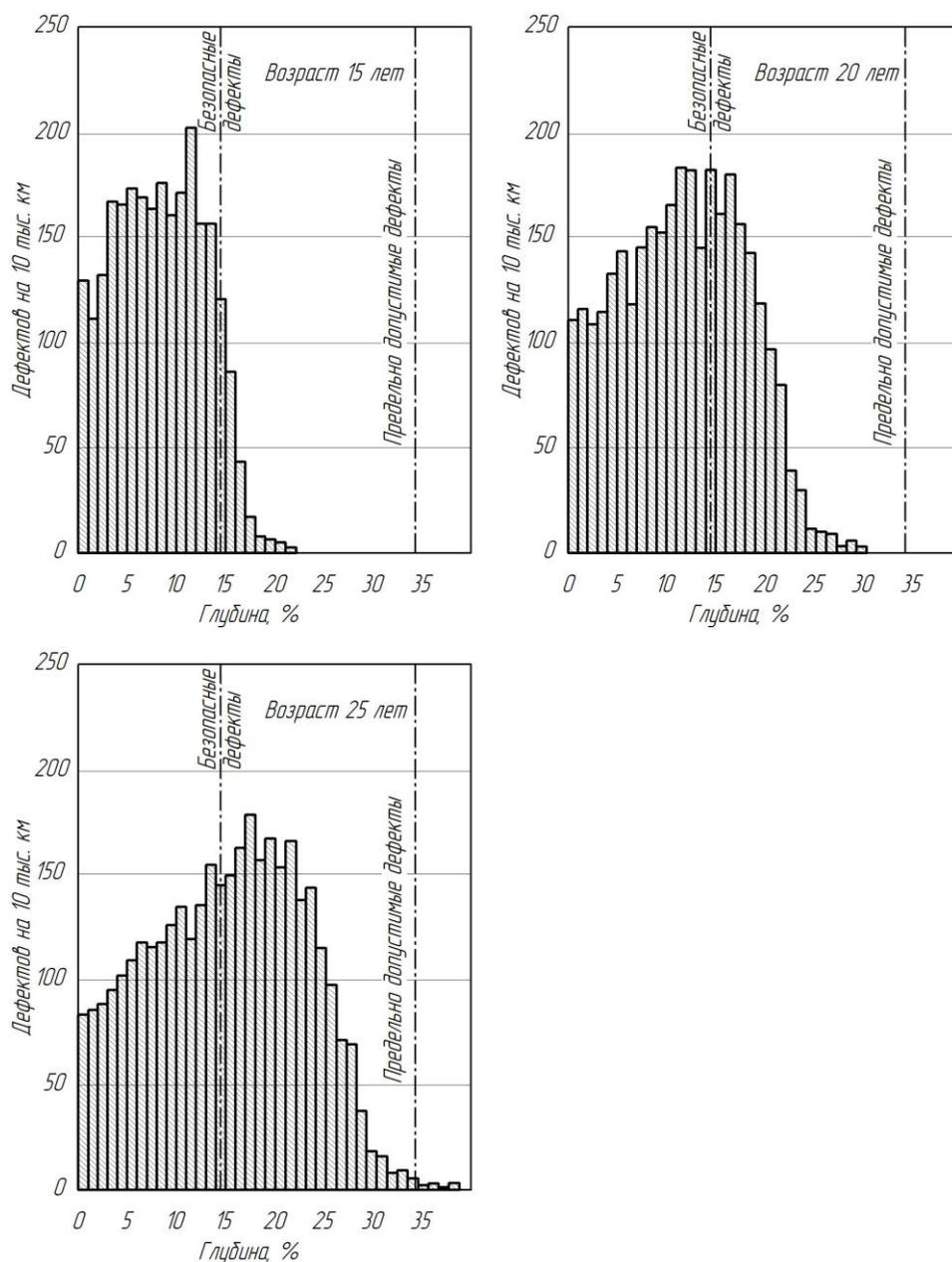


Рисунок 1.3 – Динамика образования и развития дефектов магистральных трубопроводов

1.2 Сведения о материале изделия

Трубы нефтепровода выполнены из стали 17Г1С-У (ГОСТ 20295-85) классом прочности труб **K52**.

Сталь **17Г1С** нашла применение при изготовлении сварных металлоконструкций, которые работают под давлением в условиях действия температур от -40 до +475 °С. Также эта сталь применяется для изготовления элементов технологических трубопроводов, передающих пар и горячую воду

с температурой среды не более 350 °С и рабочим давлением не более 2,2 МПа (22 кгс/см²). Указанная сталь применяется при строительстве магистральных нефтепроводов и газопроводов с трубами класса прочности К 52 (электросварные прямошовные трубы).

Равнопрочность металла шва и основного металла может быть достигнута благодаря легированию шва элементами, которые переходят из основного металла. Также повышение прочности металла шва и его стойкости против хрупкого разрушения может быть достигнуто путём дополнительного легирования металла шва через сварочную проволоку.

Стойкость против трещин может быть повышена путём снижения содержания в металле шва таких элементов как углерод и сера, что достигается применением сварочной проволоки с пониженным содержанием углерода и серы. Существенное влияние на прочность сварных соединений оказывает правильный выбор соответствующей технологии сварки, предусматривающей рациональную последовательность выполнения швов и обеспечивающей благоприятную форму провара.

Таблица 1.1 – Содержание химических элементов в стали 17Г1С

С	Mn	Si	Ni	S	P	C _{экв}
0,18	1,48	0,39	0,10	0,03	0,022	0,43

Характер изменения прочностных характеристик трубных сталей в зависимости от температуры нагрева, а также возможность выполнения дуговой сварки на трубопроводе достаточно хорошо изучены [16].

Таблица 1.2 – Механические свойства при T=20 °С стали 17Г1С

Сортамент	σ_b	σ_T	d ₅	KCU
-	МПа	МПа	%	кДж / м ²
Лист	510	345...355	23	390...440
Трубы	490	343	20	

В результате нагрева при сварке элементов трубопровода из стали 17Г1С наблюдается существенное изменение прочности в зависимости от температуры нагрева. Так, при нагреве до температуры выше 400 °С наблюдается резкое снижение прочности стали, а нагреве до температуры 720 °С прочность стали приближается к нулю. В связи с этим, следует заключить, что ремонтную сварку трубопроводов из стали 17Г1С следует выполнять с получением минимального проплавления стенки труб, стремясь уменьшить объём зоны, нагреваемой до критических температур.

1.3 Базовая технология ремонтной сварки

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).

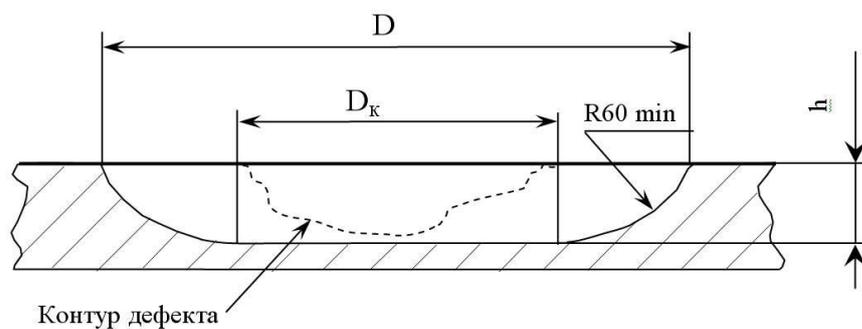
Наплавочные слои выполняются используют электродами типа Э50А, диаметр которых может быть 2,5; 2,6; 3,0 и 3,2 мм. Облицовочные слои выполняются электродами типа Э60, диаметр которых может быть 3,0; 3,2 и 4,0 мм.

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.

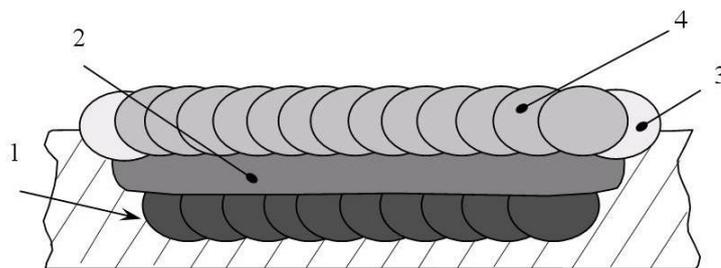
При заправлении выборки каждый слой шва заваривают узкими валиками. Сначала выполняют первый слой, потом выполняют заполняющие слои, далее выполняют контурный шов, после чего выполняют облицовочный слой (рис. 1.6). Всего должно быть выполнено не менее трёх слоев (не считая контурного шва).

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 заправлять кратер и выводить его на шов, зачищать его шлифмашинкой.

Значения параметров режима ремонтной сварки слоев шва приведены в табл. 1.3, сварку выполняют током обратной полярности, короткой дугой, с поперечными колебаниями электрода. Заваривание кратера проводят без остановки процесса сварки.

Таблица 1.3 – 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



1 – первый слой шва; 2 – заполняющие слои; 3 – контурный шов;
4 – облицовочный слой шва

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

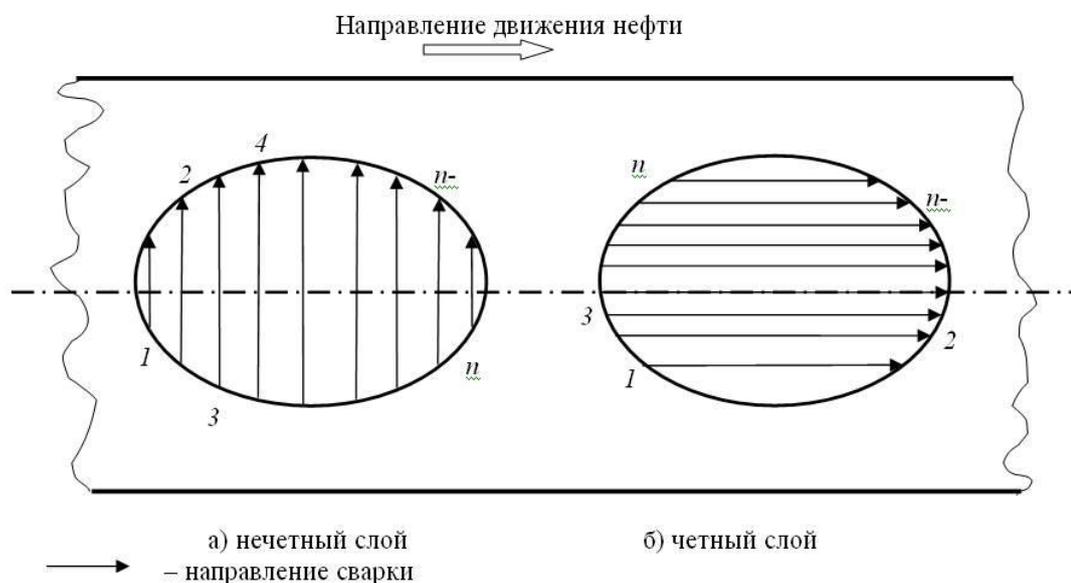


Рисунок 1.7 – Наложение валиков четных и нечетных слоев шва

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.

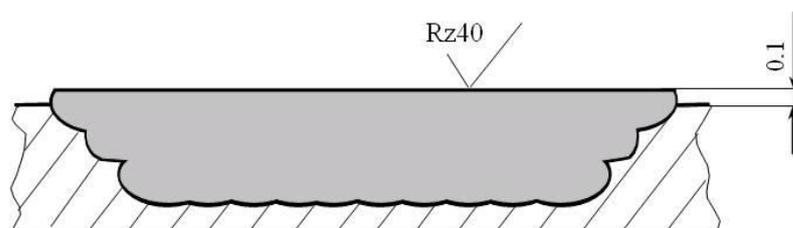


Рисунок 1.8 – Заварка выборки после механической обработки

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.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

При обосновании актуальности темы выпускной квалификационной работы была сформулирована цель – повышение производительности и качества исправления коррозионных дефектов на длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводах.

Операции базового технологического процесса ремонтной сварки магистрального трубопровода предусматривают ручную дуговую сварку штучными электродами и включают в себя: зачистку дефектного участка, предварительный подогрев участка трубы, заварку дефектного участка, механическую обработку, контроль качества. Базовая технология имеет следующие недостатки: низкая сварочных работ, высокая вероятность получения дефектов, тяжёлые условия труда сварщика, потери электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки. Кроме того, снижение качества и производительности ремонтной сварки происходит из-за необходимости останавливать процесс сварки при смене электрода, что является неустранимым при ручной дуговой сварке.

Достижение поставленной цели возможно при условии последовательного решения задач, которые сформулированы на основании анализа состояния вопроса:

- 1) произвести анализ альтернативных способов ремонтной сварки магистральных трубопроводов и обосновать выбор наиболее эффективного способа сварки;
- 2) выполнить обоснованный выбор оптимальных параметров режима сварки, сварочных материалов и оборудования;
- 3) составить проектную технологию ремонтной сварки, с привлечением современных достижений сварочной науки и техники.

2 Проектная технология исправления коррозионных дефектов магистральных трубопроводов

2.1 Обоснование выбора способа ремонтной сварки

Самым простым и давно используемым способом сварки можно считать **ручную дуговую сварку штучными электродами** (рис. 2.1).

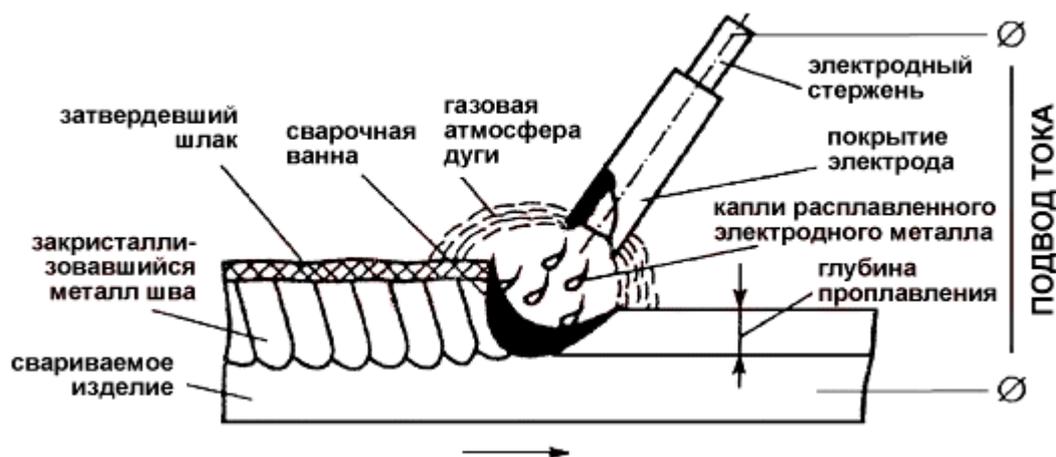


Рисунок 2.1 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучными электродами

Преимуществами этого способа являются простота применяющегося оборудования, составления технологии и метрологического обеспечения. При условии обеспечения равномерного плавления металла электрода и обмазки можно гарантировать качественную шлаковую защиту наплавленного слоя. За счёт обмазки электрода существует возможность дополнительного легирования наплавленного металла. Несмотря на своё широкое и давнее применение, ручная дуговая наплавка имеет ряд недостатков, которые в настоящий момент заставляют искать более перспективные способы восстановления деталей. Первым таким недостатком является малая производительность наплавочных работ. Вторым недостатком является тяжёлые условия ручного труда сварщика. Третьим недостатком является малая стабильность качества наплавки, которая существенно зависит от технологических факторов и от квалификации самого сварщика.

Также следует отметить, что частая смена электродов вызывает периодическое прерывание процесса наплавки и потери электродного металла на огарки.

Механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов (рис. 2.2) достаточно широко распространена и в настоящее время продолжает совершенствоваться. При этом достаточно широк диапазон применяемых сварочных материалов от малоуглеродистых сталей до среднелегированных сталей и даже нержавеющей сталей. Углекислый газ, являющийся защитной средой, считается легкодоступным и относительно недорогим.

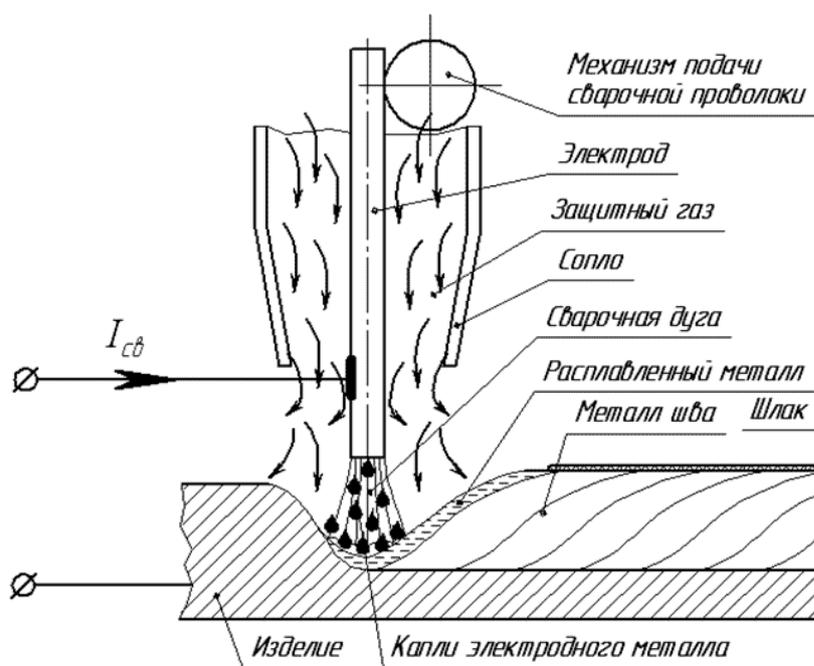


Рисунок 2.2 – Схема механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения

Совершенствованию сварки в углекислом газе посвящено большое количество работ. Их анализ позволяет сделать вывод, что, улучшение условий формирования металла сварного шва может быть достигнуто при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну. Импульсное управление электрическими параметрами сварочной дуги и постоянное изменение скорости подачи электродной проволоки широко

применяются в таких процессах, как ColdArc, SpeedPulse, STT, Fast Root CMT и PulseShock.

В настоящее время нашли промышленное применение отечественные разработки области управления горением дуги за счёт изменения скорости подачи электродной проволоки [17, 18]. Эти разработки основаны на применении современных электроприводов, конструкция которых основана на вентильных электродвигателях. Получена возможность задания произвольного алгоритма движения электродной проволоки.

Сварка самозащитными порошковыми проволоками (рис. 2.3) обладает положительными свойствами как ручной дуговой сварки, так и механизированной сварки проволоками сплошного сечения. Эта сварка предоставляет существенные производственные преимущества, особенно в монтажных условиях. При сварке самозащитными проволоками отсутствует необходимость в газовой аппаратуре (баллоны, шланги, редукторы), флюсах и флюсовой аппаратуре, применение которых может существенно усложнить процесс сварки и увеличить его трудоемкость [19, 20].

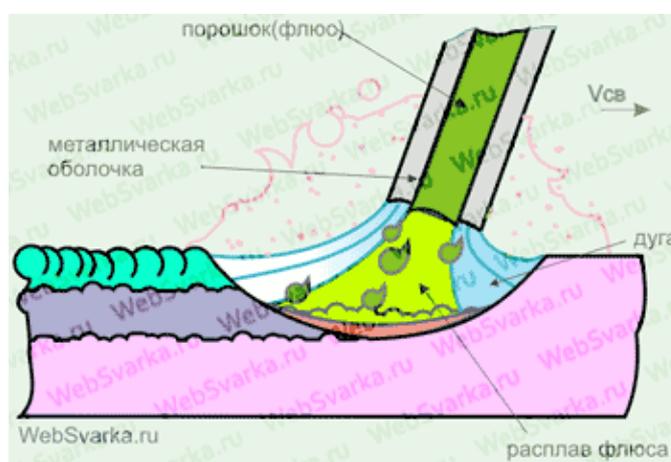


Рисунок 2.3 – Схема сварки порошковой самозащитной проволокой

Сварка под флюсом (рис. 2.4) имеет большую производительность, чем сварка в защитных газах. Также при сварке под флюсом потери электродного металла из-за разбрызгивания сведены к минимуму. Так как сварочная дуга закрыта слоем флюса, улучшаются условия труда сварщика, не требуется дополнительных мер защиты от излучения дуги.

При сварке под флюсом горение сварочной происходит между сварочным электродом и наплавляемым изделием. При этом на поверхности изделия образуется ванночка расплавленного металла. Сам участок горения дуги покрыт толстым слоем сыпучего флюса. Под действием дуги происходит частичное расплавление флюса, в нём образуется полость с эластичной оболочкой из шлака, в которой и горит сварочная дуга. Слой расплавленного шлака защищает жидкий и перегретый металл от контакта с воздухом, устраняет разбрызгивание электродного металла, сохраняет тепло сварочной дуги.

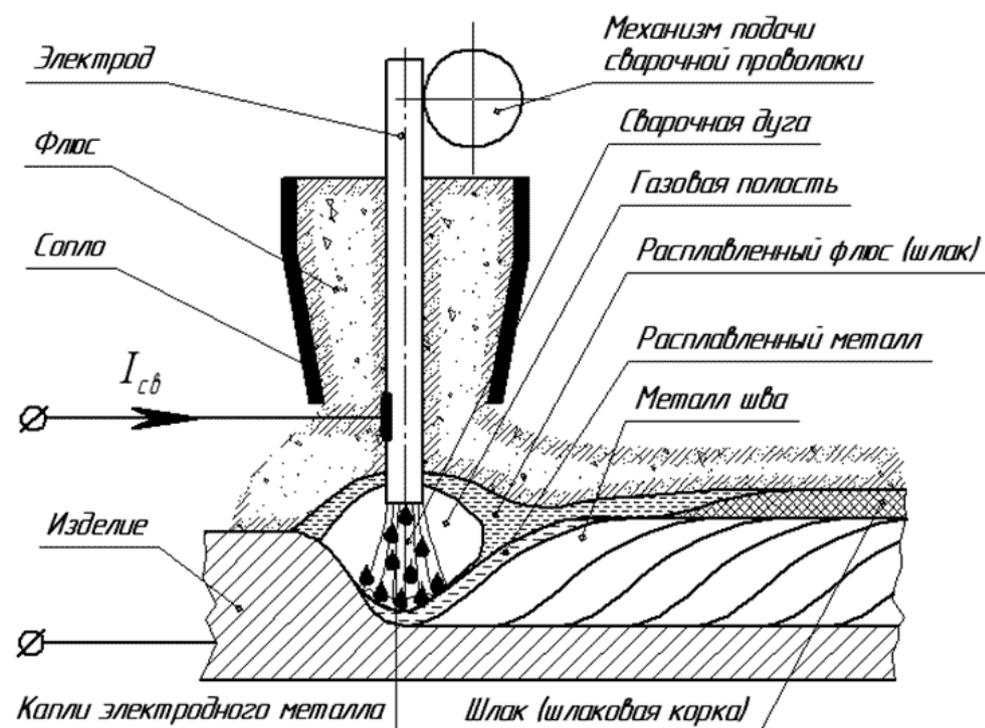


Рисунок 2.4 – Схема сварки под флюсом

Таким образом, обоснованный выбор способа ремонтной сварки магистральных трубопроводов может быть выполнен на основании анализа рассмотренных способов сварки (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Анализ преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки

Наименование способа	Преимущества способа	Недостатки способа
Ручная дуговая сварка штучными электродами	1) Простота и дешевизна оборудования; 2. Возможность сварки в различных пространственных положениях; 3. Высокая мобильность сварщика.	1. Низкая производительность; 2. Требуется высокая квалификация сварщика.
Механизованная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения	1. Высокая производительность и экономичность способа; 2. Возможность сварки в различных пространственных положениях.	1. Повышенное разбрызгивание электродного металла; 2. Ограниченная подвижность сварщика; 3. Низкая пластичность наплавленного металла.
Механизованная сварка самозащитной порошковой проволокой	1. Высокая производительность; 2. Упрощается защита сварочной ванны, легирование и раскисление металла; 3. Высокая мобильность сварщика.	1. Малая глубина проплавления; 2. Подверженность порам при изменении вылета и напряжения дуги.
Сварка под флюсом	1. Высокая стабильность качества; 2. Высокая производительность; 3. Возможность сварки больших толщин за один проход.	1. Сложности нанесения флюса при сварке в вертикальном и потолочном положении; 2. Усложняется сварочное оборудование для сварки 3. Низкая мобильность сварщика.

2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Совершенствованию наплавки в углекислом газе посвящено большое количество работ. Их анализ позволяет сделать вывод, что, улучшение условий формирования наплавленного металла может быть достигнуто при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну. Импульсное управление электрическими параметрами сварочной дуги и постоянное изменение скорости подачи электродной проволоки широко применяются в таких процессах, как ColdArc, SpeedPulse, STT, Fast Root, CMT и PulseShock [21, 22, 23].

Анализ кинограмм скоростной киносъемки процесса сварки с короткими замыканиями дугового промежутка показал, что время деформации капли (рис. 2.5) до образования перемычки определяется не только ее объемом, но и наличием или отсутствием тока в момент касания каплей поверхности сварочной ванны. При этом для переноса капель оптимального размера используется импульсный ввод энергии на стадии короткого замыкания дугового промежутка каплей электродного металла [24, 25].

С учетом современного уровня управления технологическими процессами более приемлемым является зависимость времени начала подачи импульса тока после касания каплей поверхности сварочной ванны и энергии дополнительного импульса тока от режима сварки. Эта дополнительная энергия воздействует не на каждую каплю, а только на большую часть капель оптимального объема, образующихся в данном временном интервале, или на капли, размеры которых отличаются от размеров капель оптимального ряда. Корректировка параметров импульсного режима управления сварочной дугой позволит дополнительно расширить диапазон объемов капель.

Импульсное управление горением сварочной дуги предлагается осуществлять при помощи отечественной разработки [23], которая позволяет применить стандартный источник питания.

Предлагаемая схема способа импульсного управления включает в себя (рис. 2.6) источник питания 1, свариваемое изделие 2, датчик тока 3, дроссель 4, сварочную проволоку 5, блок диодов 6, транзистор 7, стабилитрон 8, блок управления 9, линию задержки 10.

Анализ кадров видеосъемки (рис. 2.5) подтверждает, что перенос электродного металла происходит без разбрызгивания, при этом повышается эффективность нагрева основного металла.

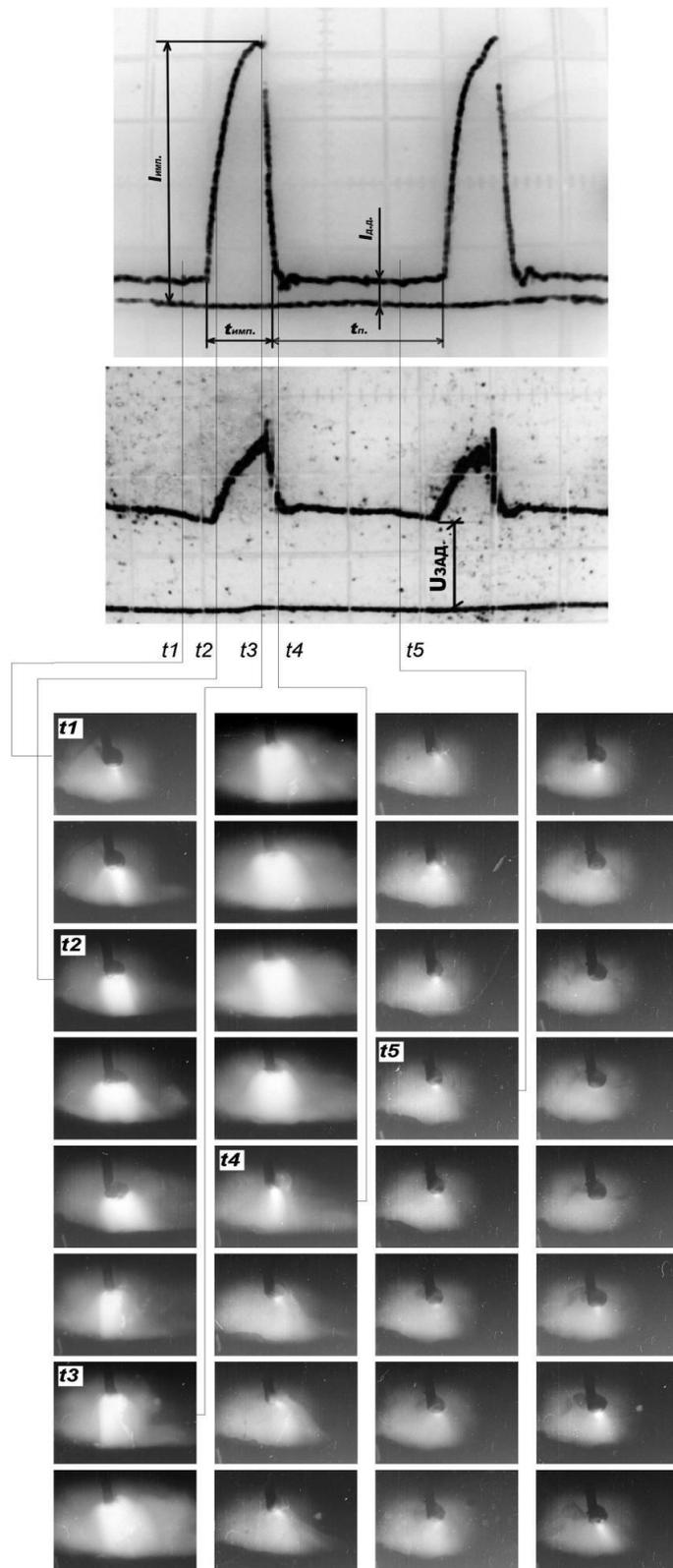
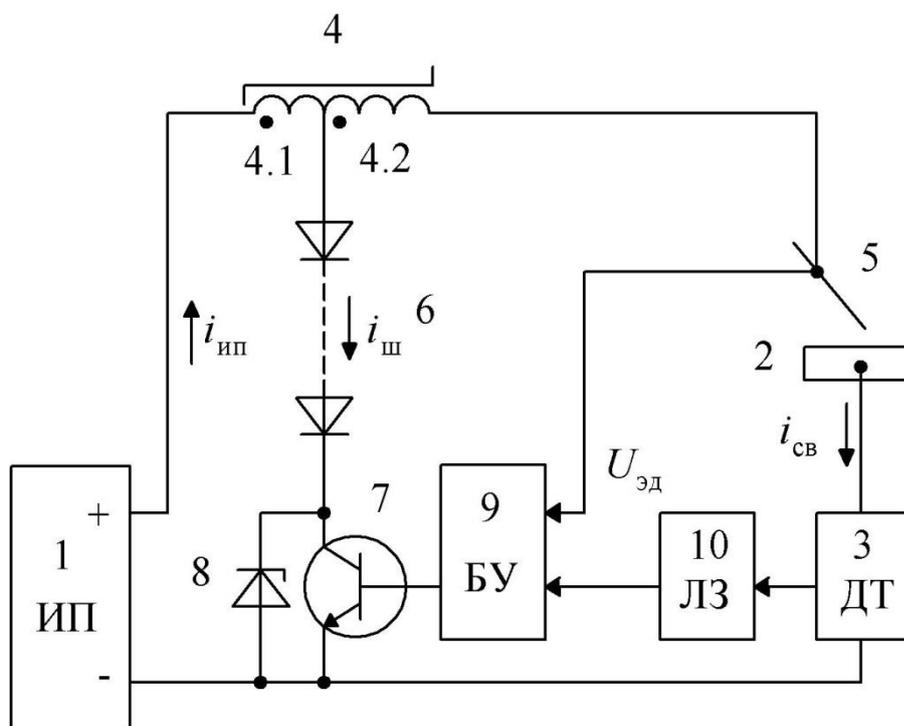


Рисунок 2.5 – Осциллограмма электрических параметров и кадры съемки сварочной дуги в указанные моменты ($t_1 \dots t_5$) времени при импульсном управлении [24]



1 - источник питания, 2 - свариваемое изделие, 3 - датчик тока, 4 - дроссель, 5 - сварочная проволока, 6 - блок диодов, 7 - транзистор, 8 - стабилитрон, 9 - блок управления, 10 - линия задержки

Рисунок 2.6 – Принципиальная схема способа импульсного управления сварочной дугой

2.3 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки трубопровода

Перед проведением ремонтной сварки требуется очистить поверхность трубопровода, удалив с неё старую изоляцию, загрязнения, следы ржавчины. После этого необходимо обезжирить поверхность трубы, удалив копоть и масло. Далее следует срезать острые выступы, заусенцы и задиры. По всему периметру повреждённого участка следует выполнить закругление краёв и осушить место ремонтной сварки.

Требования к выполнению операции: 1) Следы коррозии должны быть удалены на толщину не менее 1 мм вместе со слоем «здорового» металла; 2) Форма выборки должна быть овальной, дно выборки необходимо сделать гладким, радиус перехода должен быть не менее 60 мм; 3) Допускается не менее 5 мм остаточной толщины стенки трубы.

Для выполнения операции применяется: 1) Машинка радиальная шлифовальная; 2) Щётка металлическая; 3) Круг абразивный; 4) Набор ВИК; 5) Ультразвуковой толщиномер; 6) Шаблоны гибкие под выборку.

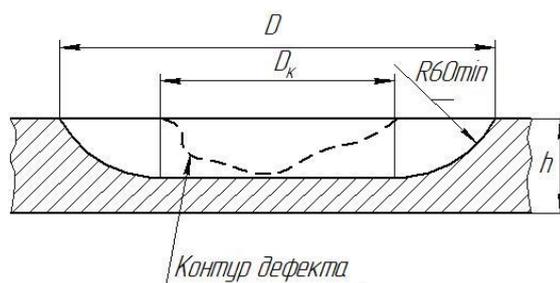


Рисунок 2.7 – Операция зачистки дефектного участка трубопровода

При ремонтной заварке выборки необходимо проводить предварительный подогрев, нагревая поверхность трубы в месте сварки на ширину 80 мм в каждую сторону до температуры 100...130 °С. Предварительный подогрев осуществляют с применением пропанобутановых или пропанобутановых кислородных горелок. Контроль температуры предварительного подогрева выполняют на расстоянии 15 мм от выполненной разделки дефектного места.

Требования к выполнению операции: 1) Температура подогрева 100...130 °С; 2) Ширина зоны подогрева не менее 80 мм в каждую сторону от выборки; 3) Температуру подогрева контролировать на расстоянии 15 мм от разделки.

Для выполнения операции применяется: 1) Резак газопламенный; 2) Контактные термомпары ТК-5; 3) Смесь пропан-бутановая.

При осуществлении ремонтной сварки послойно необходимо накладывать узкие валики. При этом последовательно выполняют первый, несколько заполняющих, контурный и облицовочный слои.

Сварку всех четных слоев шва выполняют валиками, накладываемыми параллельно, вдоль направления движению нефти по трубопроводу, как это показано на рисунке 2.8. При этом ширина накладываемых валиков должна быть не более 1 см, также необходимо обеспечить перекрытие соседних валиков на величину ≥ 3 миллиметра.

До выполнения облицовочного слоя необходимо выполнить контурный шов. При выполнении контурного шва необходимо к электроду прикладывать поперечные колебания направленные перпендикулярно границе выборки. Контурный шов должен быть шириной от 8 до 12 миллиметров. Также должен быть обеспечен плавный переход от контурного шва к основному металлу трубопровода. Не допускается наличие подрезов на основном металле.

Необходимо обеспечить мелкочешуйчатую структуру сварного шва.

После окончания сварки, полученный шов необходимо обработать механическим путем (с помощью шлифмашины) для придания отремонтированному участку требуемых геометрических размеров и гладкой формы. При этом оставляют высоту усиления шва, равно 1,0...1,5 миллиметра. Шероховатость отремонтированного сваркой участка трубы должна быть не хуже Rz40.

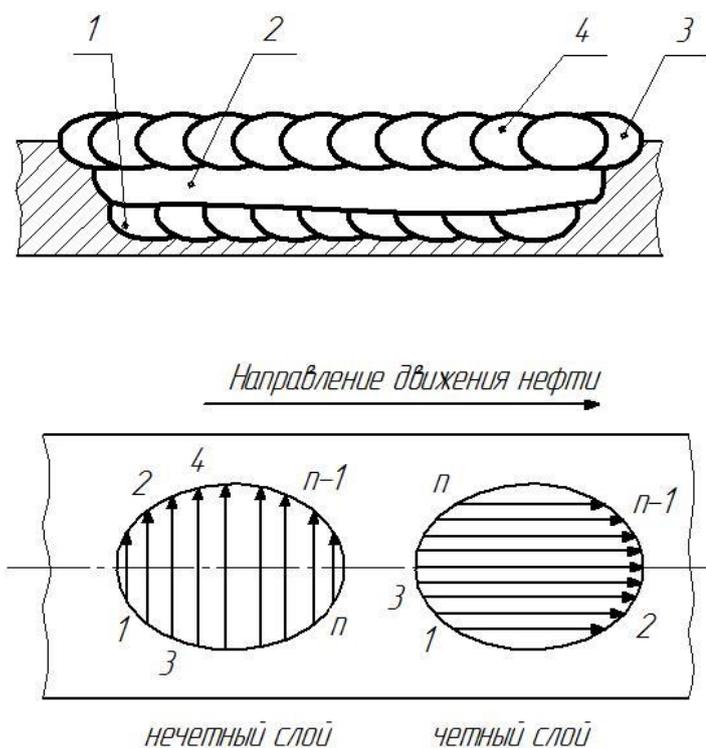


Рисунок 2.8 – Операция заварки дефекта

Требования к выполнению операции: 1) Сварку производить на постоянном токе, обратной полярности; 2) Параметры режима (табл. 2.1); 3) Послойный визуальный контроль 100 %, проверять предыдущий слой на

отсутствие трещин и пор; 4) Ширина контурного шва 8...12 мм; 5) Кратер каждого шва заплавлять и зачищать

Для выполнения операции применяются: 1) Машинка радиальная шлифовальная; 2) Круг абразивный; 3) Щётка металлическая дисковая; 4) Набор ВИК; 5) Выпрямитель сварочный ВДГ-303; 6) Формирователь импульсов сварки; 7) Электродная проволока сплошного сечения L-56 $\varnothing 1,14$ мм; 8) Смесь защитных газов: 75% Ar + 25% CO₂.

После окончания сварки, полученный шов необходимо обработать механическим путем (с помощью шлифмашины) для придания отремонтированному участку требуемых геометрических размеров и гладкой формы. При этом оставляют высоту усиления шва, равно 1,0...1,5 миллиметра. Шероховатость отремонтированного сваркой участка трубы должна быть не хуже Rz40.

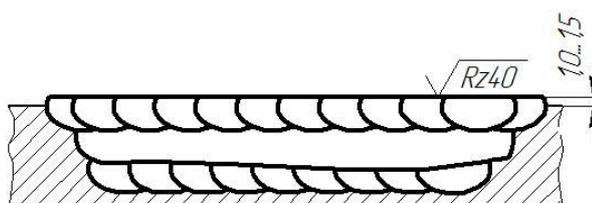


Рисунок 2.9 – Операция механической обработки

Требования к выполнению операции: 1) обработанная поверхность должна быть гладкой и иметь шероховатость не более Rz40; 2) Высота усиления 1,0...1,5 мм.

Для выполнения операции применяются: 1) Машинка радиальная шлифовальная; 2) Круг абразивный; 3) Щётка металлическая дисковая; 4) Набор ВИК

При контроле качества ремонтной сварки применяются следующие неразрушающие методы:

- Визуальный контроль/осмотр сварного соединения;
- Контроль с использованием ультразвука;
- Контроль проникающими веществами.

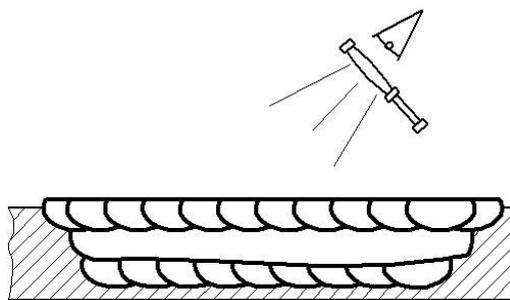


Рисунок 2.10 – Операция контроля качества

Требования к выполнению операции: 1) Визуальный контроль 100 %; 2) Ультразвуковой контроль 100 %; 3) Контроль проникающими веществами 100%; 4) Не допускаются: трещины, наплывы, подрезы, пористость и грубая чешуйчатость поверхности шва

Для выполнения операции применяются: 1) Набор ВИК; 2) Пульверизатор; 3) Керосин; 4) Краска "Судан-III"; 5) Ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i

Заключение по второму разделу

В ходе выполнения данного раздела исполнительного блока были решены следующие задачи: 1) произвести анализ альтернативных способов ремонтной сварки магистральных трубопроводов и обосновать выбор наиболее эффективного способа сварки; 2) выполнить обоснованный выбор оптимальных параметров режима сварки, сварочных материалов и оборудования; 3) составить проектную технологию ремонтной сварки, с привлечением современных достижений сварочной науки и техники.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предполагает выполнение следующих мероприятий:

1) выполнить анализ опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих внедрение в производство проектной технологии, и предложить меры защиты от них; 2) оценить экономическую эффективность предлагаемых решений.

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологи ремонтной сварки магистральных трубопроводов. В соответствии с базовой технологией ремонтная сварка трубопровода выполняется с применением ручной дуговой сварки штучными электродами и предусматривает выполнение следующих операций: 1) зачистка дефектного участка; 2) предварительный подогрев; 3) заварка дефекта; 4) механическая обработка; 5) контроль качества сварочных работ.

На основании проведённого анализа возможных способов ремонтной сварки трубопровода принято решение о замене ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку в защитном газе. 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	Электросварщик	Источник питания сварочной дуги	Сварочная проволока, газ

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 соединений	Дефектоскопист	Ультразвуковой дефектоскоп	-

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 о 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 соединений	- 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 (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, 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, 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. В соответствии с базовой технологией ремонтная сварка трубопровода выполняется с применением ручной дуговой сварки штучными электродами и предусматривает выполнение следующих операций: 1) зачистка дефектного участка; 2) предварительный подогрев; 3) заварка дефекта; 4) механическая обработка; 5) контроль качества сварочных работ.

На основании проведённого анализа возможных способов ремонтной сварки трубопровода принято решение о замене ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку в защитном газе. За счёт замены способа сварки и применения импульсного управления сварочной дугой предполагается получить снижение трудоемкости сварки и повышение качества сварочных швов.

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	$K_{см}$	-	2	2
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	P_p		IV	IV
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	150	150

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	Квн	-	1,1	1,1
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
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	400000	700000

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	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
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

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:

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см}, \quad (4.1)$$

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

D_p – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{п}$ – планируемое количество предпраздничных дней в календарном году;

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

$K_{см}$ – количество рабочих смен.

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

$$F_{н} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ ч.}$$

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

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

где B – процент планируемых потерь рабочего времени.

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

$$F_{э} = 4418 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 4108 \text{ ч.}$$

4.3 Расчет штучного времени

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

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

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:

$$t_{шт.баз} = 0,833 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,008 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,347 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,420 \text{ ч.}$$

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

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

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 одну ремонтную наплавку по базовому и проектному вариантам технологии;

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

$$\begin{aligned} П_{Г.\text{баз.}} &= 4108/1,008 = 4000 \text{ ремонтных сварок за год;} \\ П_{Г.\text{проектн.}} &= 4108/2,06 = 10000 \text{ ремонтных сварок за год.} \end{aligned}$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы $П_{Г}=4000$ ремонтных сварок 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:

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

где $П_{Г}$ – годовая программа – принятое ранее количество ремонтных наплавок на трубопроводе, которые необходимо сварить за одни

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:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{1,008 \cdot 4000}{4108 \cdot 1,03} = 0,95$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{0,42 \cdot 4000}{4108 \cdot 1,03} = 0,40$$

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:

$$K_{3б} = 0,95/1 = 0,95,$$

$$K_{3п} = 0,40/1 = 0,40.$$

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. Проектная технология сварки предусматривает применение механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитном газе, для которой сварочными материалами будут проволока и углекислый газ. 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.

При расчёте затрат на материалы следует учесть что базовый вариант технологии ремонтной сварки с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью их исправления. В проектом варианте технологии предложено использовать механизированную сварку проволокой сплошного сечения в углекислом газе, при которой дополнительно осуществляется с импульсное управление сварочной дугой. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов. Таким образом, массу наплавленного металла при сварке базовой технологии следует взять больше, чем массу наплавленного металла при сварке по проектной технологии. После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_{\text{баз.}} = 354 \text{ р/кг} \cdot 1,58 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/ см}^3 \cdot 1,8 \cdot 1,05 : 1000 = 412 \text{ рублей}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 78 \text{ р/кг} \cdot 1,0 \text{ см}^2 \cdot 50 \text{ см} \cdot 7,8 \text{ г/ см}^3 \cdot 1,2 \cdot 1,05 : 1000 + 16 \text{ руб.} = 55 \text{ рублей}$$

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

Объём $Z_{\text{осн}}$ основной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

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

где $C_{\text{ч}}$ – утверждённая 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:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 1,008 \cdot 150 \cdot 1,88 = 284,20 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 0,42 \cdot 150 \cdot 1,88 = 118,46 \text{ руб.}$$

Объём $Z_{\text{доп}}$ дополнительной заработной платы определим расчётным путём 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:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 284,20 \cdot 12 / 100 = 34,12 \text{ рублей};$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 118,46 \cdot 12 / 100 = 14,21 \text{ рублей};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{базов.}} = 284,20 + 34,12 = 318,32 \text{ рублей};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.}} = 118,46 + 14,21 = 132,67 \text{ рублей.}$$

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

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

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:

$$O_{\text{сб.баз.}} = 318,32 \cdot 34 / 100 = 108,23 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сб.проектн.}} = 132,67 \cdot 34 / 100 = 45,11 \text{ руб.}$$

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

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

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

$P_{\text{э-э}}$ – 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:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100} \quad (2.12)$$

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

$N_{\text{а}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

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

F_3 – 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:

$$A_{об.б} = \frac{400000 \cdot 21,5 \cdot 1,008}{4108 \cdot 100} = 21,10 \text{ рублей}$$

$$A_{об.пр} = \frac{700000 \cdot 21,5 \cdot 0,420}{4108 \cdot 100} = 15,39 \text{ рублей}$$

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

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

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

$Ц_{э-э}$ – 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:

$$P_{\text{Э-Эб}} = \frac{25 \cdot 1,008 \cdot 3,02}{0,7} = 108,72 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{Э-Эпр}} = \frac{40 \cdot 0,42 \cdot 3,02}{0,85} = 59,70 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{баз.}} = 21,10 + 108,72 = 129,82 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{проектн.}} = 15,39 + 59,70 = 75,09 \text{ рублей}$$

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

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} \quad (4.14)$$

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 412 + 318 + 108 + 130 = 968 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 55 + 133 + 45 + 75 = 308 \text{ руб.}$$

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

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

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:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 968 + 1,5 \cdot 284,20 = 968 + 426 = 1394 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 308 + 1,5 \cdot 118,46 = 308 + 178 = 486 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 1394 + 1,15 \cdot 284,20 = 1394 + 327 = 1721 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 486 + 1,15 \cdot 118,46 = 486 + 136 = 622 \text{ руб.}$$

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	412	55
2. Объем фонда заработной платы	ФЗП	318	133
3. Отчисления на соц. нужды	ОСН	108	45
4. Объем финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	130	75
5. Величина технологической себестоимости	Стех	968	308
6. Объем цеховых расходов	Рцех	426	178
7. Величина цеховой себестоимости	Сцех	1394	486
8. Объем заводских расходов	Рзав	327	136
9. Величина заводской себестоимости	$C_{\text{зав}}$	1721	622

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:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot \text{Ц}_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{3.Б.}, \quad (4.17)$$

где K_3 – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б}}$ –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:

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

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

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

N_A – 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:

$$Ц_{\text{ОБ.Баз.}} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5/100) = 142000 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 142000 \cdot 0,90 = 127800 \text{ рублей}$$

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

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = K_{\text{ОБ.ПР}} + K_{\text{ПЛ.ПР}} + K_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.19)$$

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

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

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

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

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

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

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = 700000 \cdot 1,05 \cdot 0,57 = 418950 \text{ руб.}$$

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

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

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

$K_{\text{МОНТ}}$ – 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:

$$K_{\text{ДЕМ}} = \text{Ц}_Б \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.22)$$

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:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ руб.}$$

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

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

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:

$$K_{\text{МОНТ}} = 700000 \cdot 0,05 = 35000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{СОП}} = 20000 + 35000 = 55000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 418950 + 55000 = 473950 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩ.ПР}} - K_{\text{ОБЩ.Б.}} \quad (4.24)$$

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

$$K_{\text{ДОП}} = 473950 - 127800 = 346150 \text{ руб.}$$

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

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

где Π_T – принятое значение годовой программы.

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

$$K_{удБаз.} = 127800/4000 = 32 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{удПроектн.} = 473950/4000 = 118 \text{ руб./ед.}$$

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:

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

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

$$\Delta t_{шт} = \frac{1,008 - 0,42}{1,008} \cdot 100\% = 58\%$$

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

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

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

$$П_T = \frac{100 \cdot 58}{100 - 58} = 138\%$$

Снижение ΔC_{TEH} технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{TEH} = \frac{C_{TEHБ} - C_{TEHПР}}{C_{TEHБ}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

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

$$\Delta C_{TEH} = \frac{968 - 308}{968} \cdot 100\% = 68\%$$

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

$$Пр_{ож.} = Э_{у.г.} = (C_{зав}^{\bar{б}} - C_{зав}^{пр}) \cdot П_T \quad (4.29)$$

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

$$Э_{у.г.} = (1721 - 622) \cdot 4000 = 4396000 \text{ руб.}$$

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

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{\Delta_{уг}} \quad . \quad (4.30)$$

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

$$T_{ок} = \frac{346150}{4396000} = 0,1$$

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

$$\Delta_{г} = \Delta_{уг} - E_n \cdot K_{доп} \quad (4.31)$$

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

$$\Delta_{г} = 4396000 - 0,33 \cdot 346150 = 4281771 \text{ руб.}$$

Заключение по экономическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы выполнена оценка экономической эффективности внедрения предлагаемых технологических решений в промышленное производство. Для этого проведён расчёт затрат при сварке по базовой технологии и расчёт затрат при сварке по проектной технологии, далее выполнено сравнение экономических показателей рассматриваемых вариантов технологии.

Базовый вариант технологии ремонтной сварки трубопровода с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью переварки. В проектном варианте технологии предложено использовать механизированную сварку проволокой сплошного сечения в углекислом газе, при которой дополнительно осуществляется с импульсное управление сварочной дугой. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоемкость на 58 %, увеличивается производительность труда на 138 %, уменьшается технологическая себестоимость на 68 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 4,4 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 4,28 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 0,1 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 качества исправления коррозионных дефектов на длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводах.

Операции базового технологического процесса ремонтной сварки магистрального трубопровода предусматривают ручную дуговую сварку штучными электродами и включают в себя: зачистку дефектного участка, предварительный подогрев участка трубы, заварку дефектного участка, механическую обработку, контроль качества. Базовая технология имеет следующие недостатки: низкая сварочных работ, высокая вероятность получения дефектов, тяжёлые условия труда сварщика, потери электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки. Кроме того, снижение качества и производительности ремонтной сварки происходит из-за необходимости останавливать процесс сварки при смене электрода, что является неустранимым при ручной дуговой сварке.

В ходе выполнения раздела исполнительного блока были решены следующие задачи: 1) произвести анализ альтернативных способов ремонтной сварки магистральных трубопроводов и обосновать выбор наиболее эффективного способа сварки; 2) выполнить обоснованный выбор оптимальных параметров режима сварки, сварочных материалов и оборудования; 3) составить проектную технологию ремонтной сварки, с привлечением современных достижений сварочной науки и техники.

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

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 4,28 млн. рублей.

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

Список используемой литературы

1. Кузнецов, В.В. Сравнительный анализ статистических данных по аварийности на магистральных трубопроводах в России и в Западной Европе / В.В. Кузнецов, А.А. Ляпин, Р.Е. Монахов // Нефть, Газ и Бизнес. – 2007. – № 1–2. – С. 49–56.
2. Мазур, И.И. Безопасность трубопроводных систем / И.И. Мазур, О.М. Иванцов. – М.: Елима, 2004. – 1097 с.
3. Стеклов, О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением / О.И. Стеклов. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
4. Анализ аварий и несчастных случаев на трубопроводном транспорте / Под ред. Б.Е. Прусенко, В.Ф. Мартынюк. – М.: ООО «Анализ опасностей», 2003.
5. Воробьев, В.А. Надежность существующих систем трубопроводного транспорта и пути ее повышения / В.А. Воробьев, А.Г. Гумеров, М.Х. Султанов, В.А. Гараева // Программа работы 3-го Конгресса нефтегазопромышленников России, г. Уфа, 22-25 мая 2001 г. – Уфа: Изд-во ТППРБ, 2001. – С. 33–39
6. Гафаров, Н.Н. Анализ отказов и оценка остаточного ресурса трубопроводов и оборудования ОНГКМ / Н.Н. Гафаров, А.Д. Гончаров, В.М. Кушнарченко, Ю.А. Чирков // Тез. докл. 3-й Международной конференции «Диагностика трубопроводов», г. Москва, 21-26 мая 2001 г. – М., 2001. – С. 12.
7. 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.
8. Черняев, В.Д. Системная надежность магистрального транспорта углеводородов / В. Д. Черняев, К. В. Черняев, В. Л. Березин и др.; под ред. В. Д. Черняева. – М.: ОАО «Недра», 1997. – 517 с.

9. Варламов, В.Л. Мониторинг дефектности и прогноз состояния магистральных газопроводов России / В. Л. Варламов, В. А. Канайкин, А. Ф. Матвиенко, О. И. Стеклов. – Екатеринбург, ООО «УНПЦ», 2012. – 254 с.

10. Ковалевич О.М. Риск в техногенной сфере. М. Издательский дом МЭИ, 2006. – 148 с.

11. Стеклов, О.И. Анализ рисков магистральных газопроводов России по данным мониторинга результатов внутритрубной диагностики /О.И. Стеклов, Д.П. Варламов // Сварочное производство. – 2013. - № 9.

12. Сенцов, С.И. Влияние системы менеджмента качества строительства на безотказность работы магистральных трубопроводов: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – Москва: Российской государственной университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2009.

13. Ланге, Б.С. Разработка методологии комплексной оценки качества магистральных трубопроводов в процессе строительного контроля: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва: Российской государственной университет нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2012.

14. Харина, И.Л. Стойкость против сероводородного коррозионного растрескивания низколегированной стали высокой чистоты для трубопроводов сероводородсодержащих сред / И.Л. Харина, А.Л. Гутарова, Т.В. Морозова // Будущее машиностроения России: Третья Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов. – М.: МГТУ им.Н.Э. Баумана. – 2010.

15. Варламов, Д.П. Прогнозирование рисков безопасной эксплуатации линейной части магистральных газопроводов, склонных к коррозионному растрескиванию под напряжением: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2014.

16. Бут, В.С. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации / В.С. Бут, О.И. Олейник // Автоматическая сварка. – 2014. – № 5. – С. 42–50.

17. Федько, В.Т. Импульсная подача сварочной проволоки с управляемым переносом электродного металла / В.Т. Федько, А.В. Крюков, С.А. Солодский // Наука – Образование – производство: материалы научно технической конференции. – Нижний Тагил, 2004. – Т.2. – С. 100–103.

18. Лебедев, В.А. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев, И.В. Лендел, А.В. Яровицын [и др.] // Автоматическая сварка. – 2006. – № 3. – С. 25–30.

19. Шлепаков, В.Н. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей / В.Н. Шлепаков, Ю.А. Гаврилюк, А.С. Котельчук // Автоматическая сварка. – 2010. – № 3. – С. 46–51.

20. Розерт, Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях / Р. Розерт // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 60–64.

21. DeRuntz, B. D. Surface Tension Transfer welding in manufacturing. Selected Paper presented at the National Association of Industrial Technology Conference, Detroit Michigan, 2001. – P. 20–26.

22. Федько, В.Т. Импульсная подача сварочной проволоки с управляемым переносом электродного металла / В.Т. Федько, А.В. Крюков, С.А. Солодский // Наука – Образование – производство: материалы научно технической конференции. – Нижний Тагил, 2004. – Т.2. – С. 100–103.

23. Lebedev V.A. Application of mechanical oscillations with controllable parameters for improvement of arc mechanized and automatic arc welding and surfacing using consumable electrode / V.A. Lebedev, S.Yu. Maksimov // Doc.XII-2082-12, Draft Agenda Commission XII «Arc Welding Processes and Production Systems» July 9-11, 2012, Denver, USA.

24. Верёвкин, А.А. Повышение эффективности сварки в CO₂ неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Томский политехнический университет. – 2010.

25. Гецкин, О.Б. Разработка алгоритма управления переносом электродного металла при сварке в защитных газах и его реализация в многофункциональном сварочном источнике: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Чебоксары: НПП «Технотрон». – 2010.

26. Патент РФ № 2359796. Способ дуговой сварки с управляемым переносом электродного металла и устройство для его осуществления / А.С. Киселёв, А.С. Гордынец, Р.И. Дедюх. Заявл. 07.04.2008; Оpubл. 27.06.2009, Бюл. № 18.