

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 ремонтной сварки магистрального нефтепровода

Студент

Ю.А. Стрижак

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.э.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 2021

## Аннотация

В настоящее время значительное количество трубопроводных систем по состоянию приближается к критической точке, когда становится необходимым либо замена его части, либо глубокий ремонт с применением различных ремонтных конструкций.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества выполнения сварочных операций при ремонте магистральных нефтепроводов.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- выполнить обоснованный выбор способа сварки рассматриваемой ремонтной конструкции;

- составить проектную технологию сварки (выбрать сварочные материалы назначить оптимальные параметры режима, выбрать сварочное оборудование, требования к выполнению технологических операций).

На основании анализа источников научно-технической информации построение проектной технологии ремонтной сварки предложено выполнять с использованием механизированной сварки в защитном газе.

Приведены описания операций технологического процесса ремонтной сварки, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,249 млн. рублей.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние ремонтной сварки магистральных нефтепроводов. . . . .	7
1.1 Описание типового магистрального нефтепровода. . . . .	7
1.2 Сведения о материале трубопровода. . . . .	8
1.3 Классификация ремонтных конструкций при исправлении дефектов магистрального нефтепровода. . . . .	10
1.4 Базовая технология ремонтной сварки при исправлении дефектов магистрального нефтепровода . . . . .	14
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы . . . . .	21
2 Проектная технология ремонтной сварки нефтепровода. . . . .	23
2.1 Обоснование выбора способа сварки . . . . .	23
2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитных газах. . . . .	28
2.3 Способ импульсно-дуговой сварки. . . . .	31
2.4 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки нефтепровода. . . . .	34
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса . . . . .	40
3.1 Технологическая характеристика объекта . . . . .	40
3.2 Идентификация профессиональных рисков . . . . .	41
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков . . . . .	43
3.4 Обеспечение пожарной безопасности . . . . .	45
3.5 Обеспечение экологической безопасности . . . . .	47
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии. . . . .	50
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений . . . . .	50

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	52
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	53
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	55
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	59
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	62
Заключение . . . . .	65
Список используемой литературы и используемых источников . . . . .	66

## Введение

Эксплуатация трубопроводного транспорта сопряжена с необходимостью постоянной поддержки работоспособности труб. В настоящее время значительное количество трубопроводных систем по состоянию приближается к критической точке, когда становится необходимым либо замена его части, либо глубокий ремонт с применением различных ремонтных конструкций. Таким образом, экологическая безопасность и эффективность трубопроводной системы определяется совокупностью средств технического контроля и проведения своевременного ремонта.

Современное общество в основе своей содержит технологии, на которые критично влияют даже кратковременные перебои подачи углеводородного сырья (отопительное и котельное оборудование, металлургия, нефтехимия, стекловарение и т.д.). Поэтому длительное прекращение поставок углеводородного сырья мировому производителю недопустимо.

Повышению эффективности использования трубопроводного транспорта способствует внедрение эффективных методик контроля состояния трубопроводов и их ремонта. Существенная часть магистральных трубопроводов Российской Федерации имеет преклонный возраст и подлежит капитальному ремонту. Статистика по дефектам и авариям на магистральных трубопроводах свидетельствует о прямой связи числа аварийности с возрастом трубопроводов. Циклические нагрузки приводят к развитию в них повреждений, очагами зарождения которых являются дефекты, которые были допущены в ходе строительства трубопроводов (брак монтажных работ). Также на длительность и бесперебойность эксплуатации трубопровода существенное влияние оказывают коррозионные процессы в трубах. Таким образом, чтобы обеспечить заложенный в трубопровод ресурс работы, необходимо проведение его ремонта.

В соответствии с принятой технической политикой ОАО АК «Транснефть», должна быть обеспечена безопасность эксплуатации магистральных нефтепроводов, что предусматривает проведение комплексных мероприятий по повышению надежности и безопасности, своевременному обнаружению и устранению дефектов на линейной части трубопроводов.

Полученные при обследовании данные по состоянию участков трубопроводов ложатся в основу программы их реконструкции и проведения выборочного капитального ремонта труб.

В настоящее время частота отказов трубопроводов составляет порядка 0,27 на 1000 км в год. Таким образом, на 4 тысячи километров трубопровода каждый год происходит по одной крупной аварии.

Приблизительно 30 % аварий возникает на трубопроводах, строительство которых было завершено в 90-е года прошлого века. Причинами аварий являются множественные дефекты, которые получились из-за недоработки исполнительной и проектной документации, а также допущенных нарушений при строительстве. По причине концентраторов напряжений (задиры, риски, вмятины, накладки и пр.) возникает порядка 7 % отказов трубопроводов. Ещё 1,5...2 % отказов приходится на дефекты сварного шва типа неметаллических включений.

Основной операцией при ремонтной сварке трубопроводов является сварка, которая используется для заварки коррозионных дефектов, приварки ремонтных конструкций (муфт) и замене участков трубопровода. Ремонтная сварка выполняется в применении ручной дуговой сварки штучными электродами. Требуется замена этого способа на более производительный и позволяющий получать стабильное качество сварки.

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества выполнения сварочных операций при ремонте магистральных нефтепроводов.

# 1 Современное состояние ремонтной сварки магистральных нефтепроводов

## 1.1 Описание типового магистрального нефтепровода

Нефть Западно-Сибирского месторождения проходит по магистральному нефтепроводу «Сургут-Полоцк». Марийское РНУ обслуживает участок «Дубники», который проходит по территории Марий Эл. Далее нефтепровод проходит через территорию Кировской и Нижегородской областей и подаёт нефть на нефтеперерабатывающие заводы. Длина обслуживаемого участка составляет 133 км. Сам трубопровод начинается в деревне Куршаково Мари-Турекского района республики Марий Эл. Конечным пунктом обслуживаемого участка является линейная задвижка № 13.

Диаметр магистрального нефтепровода, представленного на рисунке 1, составляет 1020 мм, давление передаваемой нефти – 4,8...5,5 МПа. При передаче нефти она движется по магистральному трубопроводу со скоростью 5...9 км/час.

Рассматриваемый трубопровод содержит два подводных перехода и десять надводных шириной до 10 мм и глубиной водоёма до 1,5 метра. Также нефтепровод пересекает автомобильную дорогу в тринадцати местах.



Рисунок 1 – Магистральный нефтепровод «Сургут-Полоцк»

## 1.2 Сведения о материале трубопровода

Трубы для изготовления магистрального нефтепровода выполнены из стали 17Г1С-У класса прочности К52 согласно ГОСТ 20295. Содержание химических элементов в стали 17Г1С представлена в таблице 1.

Сталь 17Г1С применяется в металлических конструкциях, работа которых происходит при температурах от -40 до +475 °С. Эта сталь применяется для изготовления трубопроводов пара и горячей воды, рабочее давление которых не превышает 2,2 МПа, а расчётная температура не превышает 350 °С. Также эта сталь применяется при изготовлении фасонных элементов, тройников, линейных частей трубопроводов – прямошовных труб прочностью К52. Трубы из стали 17Г1С применяются для строительства магистральных газопроводов и нефтепроводов.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 17Г1С [3], [4]

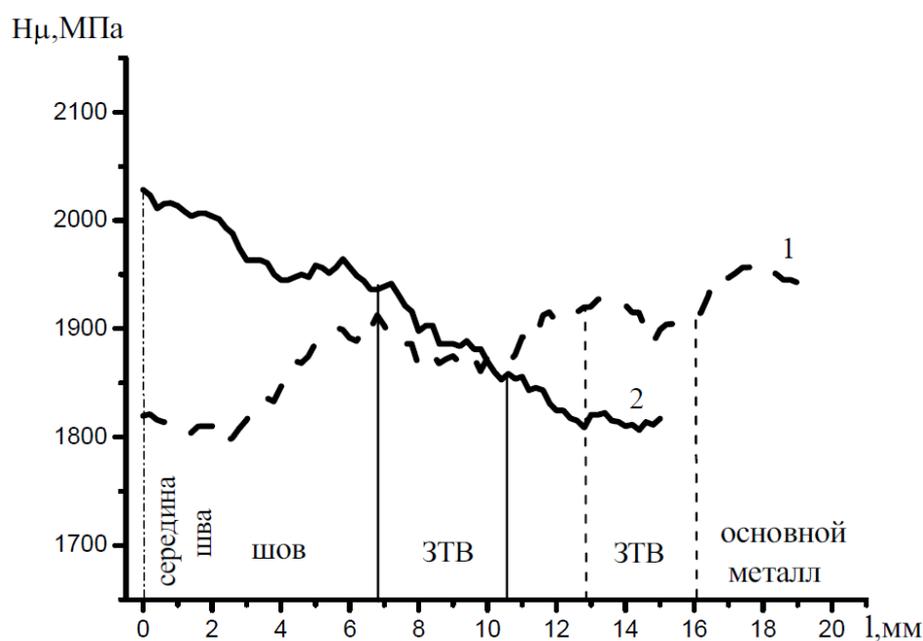
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,15 - 0,2	0,4 - 0,6	1,15 - 1,6	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Длительная эксплуатация металлических изделий, изготовленных с применением дугой сварки из стали 17Г1С приводит к возникновению очагов механического разрушения [17]. Это в основном относится к сварным соединениям, полученным с применением классической сварки стационарной дугой. Применение импульсных режимов позволяет обеспечить регулируемое вложение тепла в зону сварки и сформировать требуемую структуру зоны термического влияния и металла шва [12], [14].

Исследования по измерению циклической прочности металла сварного шва из стали 17Г1С-У, а также структуры металла сварного шва и распределения микротвёрдости представлены в работе [17]. График распределения микротвёрдости, представленный на рисунке 2, позволяет судить о высоких технологических свойствах импульсной дуги по сравнению

со стационарной дугой при изготовлении металлических конструкций из стали 17Г1С.

При сварке стали 17Г1С в сварном шве формируется ферритно-перлитная структура. Применение импульсного режима сварки позволяет уменьшить размер зёрен в 1,3...1,8 раза. При этом импульсный режим позволяет обеспечить более дисперсную структуру сварного шва. Структура зоны термического влияния при импульсной сварке также существенно отличается в лучшую сторону, как показано на рисунке 4.



1 – стационарный режим сварки; 2 – импульсный режим сварки

Рисунок 2 – Микротвёрдость в сварном соединении стали 17Г1С-У

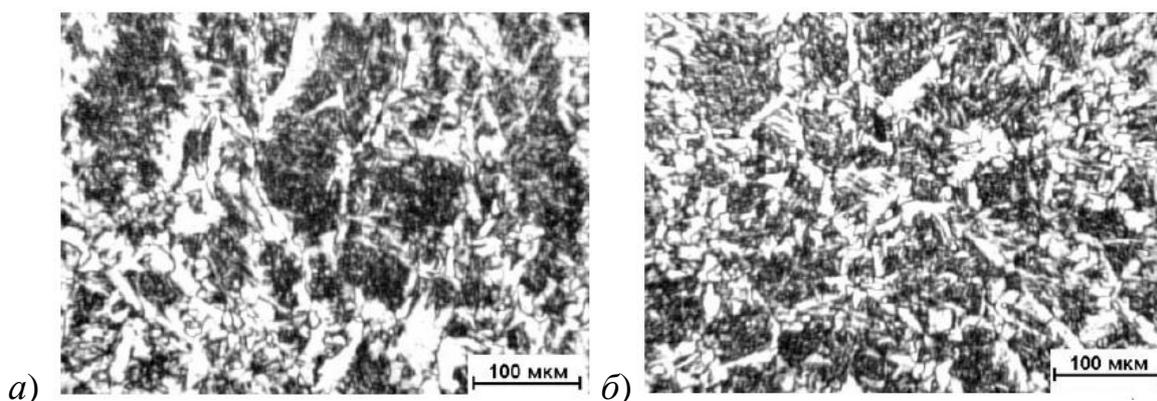


Рисунок 3 – Структура металла сварного шва стали 17Г1С-У при сварке стационарной дугой (а) и импульсной дугой (б)

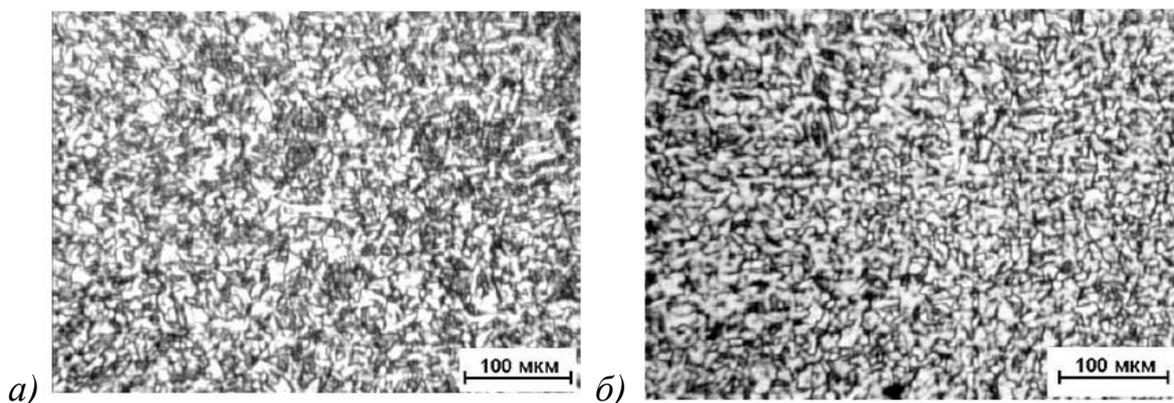


Рисунок 4 – Структура зоны термического влияния стали 17Г1С-У при сварке стационарной дугой (а) и импульсной дугой (б)

«Исследования циклической прочности сварных соединений из стали 17Г1С, выполненных с применением стационарной дуги и импульсной дуги показали, что усталостная прочность образцов, выполненных с применением импульсной сварки, превышает усталостную прочность образцов при использовании стационарной дуги» [17].

Таблица 2 – Количество циклов до разрушения образцов из стали 17Г1С-У

Исследуемая зона сварного соединения	Режим сварки	
	стационарный	Импульсный
Металл сварного шва	70255	122055
Зона термического влияния	79470	114880

По зоне термического влияния – в 1,4 раза, а по металлу сварного шва – в 1,7 раза, как показано в таблице 2.

### **1.3 Классификация ремонтных конструкций при исправлении дефектов магистрального нефтепровода**

Установка ремонтных муфт является наиболее экономичным и производительным методом ремонта магистральных трубопроводов, массово применяемым в настоящее время [10]. Применение ремонтной муфты позволяет продлить срок службы ремонтируемого участка на 30 лет и более.

При ремонте магистральных трубопроводов применяются муфты различной конструкции, классификация которых представлена на рисунке 5.

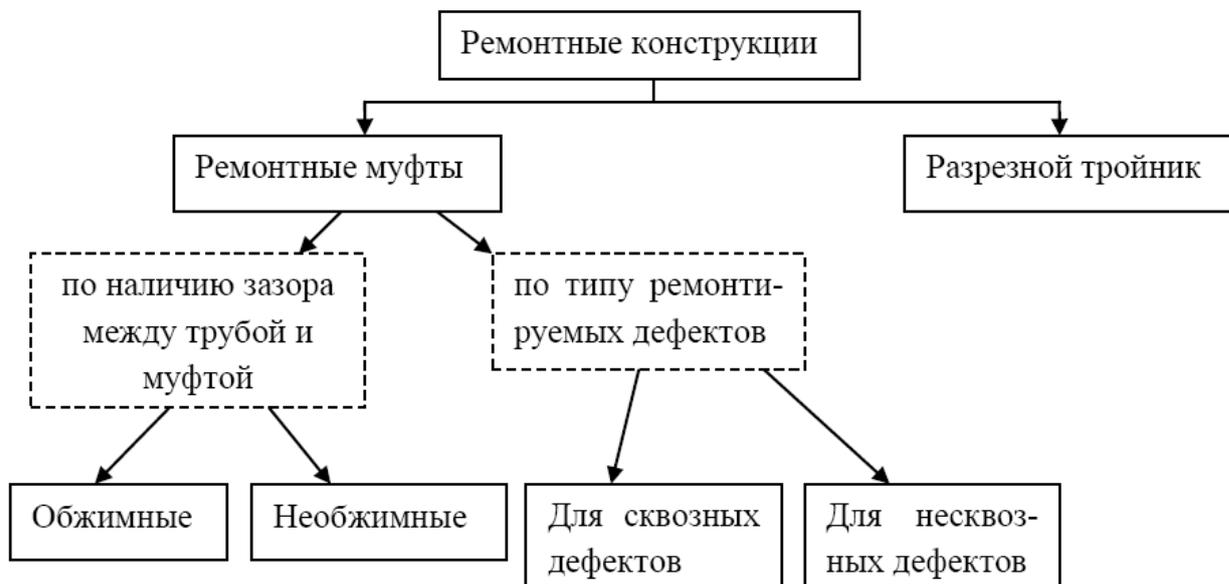


Рисунок 5 – Ремонтные конструкции, применяемые при ремонтной сварке магистральных нефтепроводов

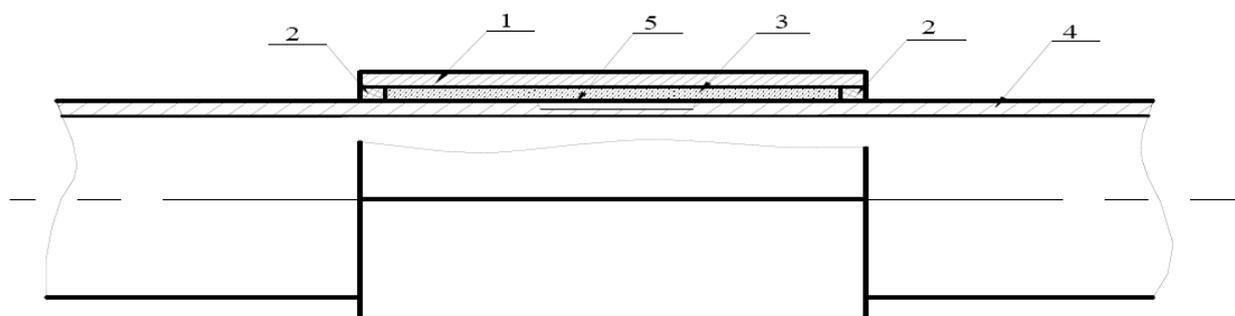
Приварные муфты могут быть как обжимными, так и необжимными, что определяется наличием зазора между муфтой и трубой. При использовании необжимной муфты её устанавливают на трубу с некоторым зазором, величина которого зависит от конструкции муфты. В этот зазор закачивают антикоррозионную жидкость. При использовании обжимной муфты применяют наружный центратор, который обеспечивает плотное прижатие полумуфт к ремонтируемой трубе.

По типу дефектов муфты могут быть для исправления несквозных дефектов и для исправления сквозных дефектов труб.

При ремонте нефтепровода используются муфты видов П1ВД, П2ВД, П3ВД, П4ВД и П6ВД., которые служат для исправления дефектов в кольцевом сварном шве или в стенке трубы.

Самое простое исполнение имеет необжимная муфта П1ВД, представленная на рисунке 6, установка которой на трубе происходит с технологическим зазором. Муфта состоит из двух полумуфт, которые

свариваются между собой продольными швами. Установка полумуфт на дефектном участке трубы выполняется с зазором не менее 6 мм, далее выполняют герметизацию торцев муфты с применением быстротвердеющего герметика. После затвердевания герметика зазор между трубой и муфтой заполняют эпоксидным компанаудом. Полумуфты снабжены установочными болтами, которые позволяют регулировать зазор между трубой и полумуфтой, а также выполняют функции опор при установке полумуфт на трубу. Подачу кополитного компанауда осуществляют через входной штуцер на нижней полумуфте. Стравливание воздуха и контроль заполнения ремонтного пространства проводят при помощи выходного штуцера на верхней полумуфте.



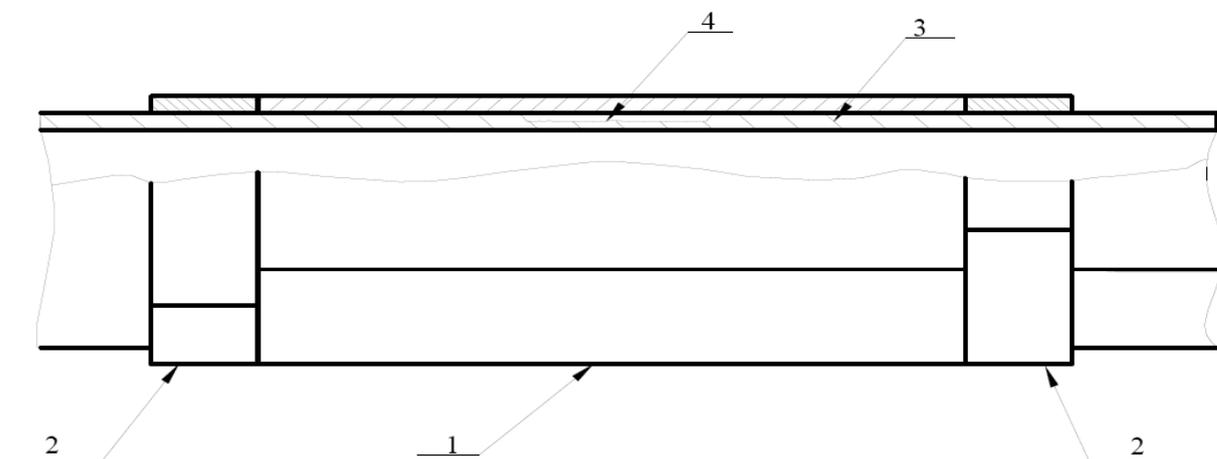
1 – Центральное кольцо; 2- Герметик быстротвердеющий; 3- Композитный состав на основе эпоксидного компаунда; 4- Труба; 5- Дефект

Рисунок 6 – Ремонтная муфта П1ВД с заполнением композитным составом

Ремонтная муфта П2ВД, представленная на рисунке 7, устанавливается без технологического зазора и является обжимной. Муфта представляет собой конструкцию из двух полумуфт и четырёх технологических полуколец. Эта муфта применяется при ремонте несквозных дефектов стенки трубопровода.

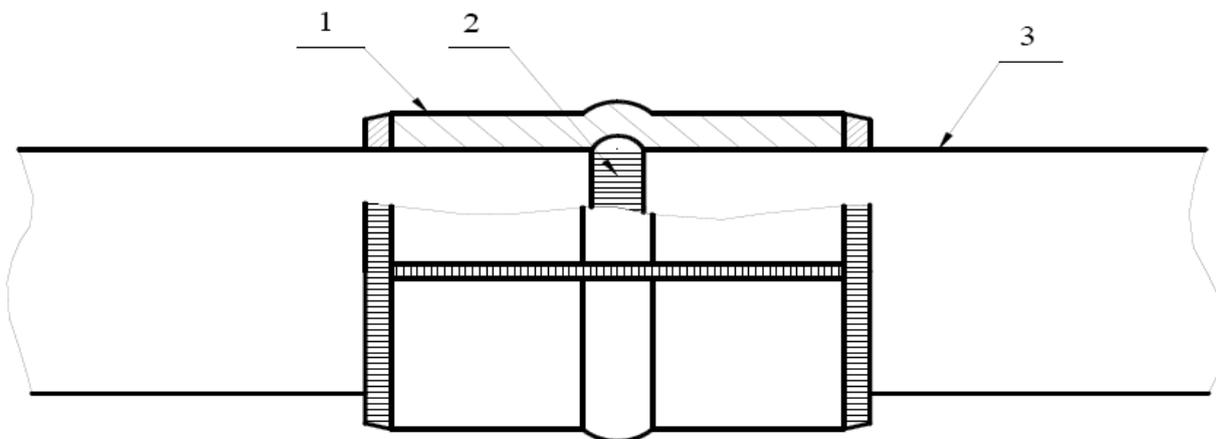
Ремонт кольцевых сварных швов трубопровода осуществляется при помощи галтельной ремонтной муфты П3ВД, представленной на рисунке 8. Эта муфта состоит из двух полуколец, каждое из которых имеет галтель. Галтельная муфта не требует применения технологических полуколец.

Как видно, все муфты, применяемые для ремонта дефектов нефтепровода, имеют типовую конструкцию. Все ремонтные муфты состоят из двух половинок – полумуфт, которые соединяются между собой продольными швами. Присоединение муфты к трубе происходит, как правило, при помощи кольцевых угловых швов.



1 – Центральное кольцо; 2 – Технологическое кольцо; 3 – Труба; 4 – Дефект

Рисунок 7 – Обжимная приварная муфта типа П2ВД



1- Центральное кольцо с гальтелью; 2 – Дефектный сварной шов; 3 - Труба

Рисунок 8 – Гальтельная муфта типа П3ВД

Технология установки ремонтных муфт предусматривает выполнение ручной дуговой сварки штучными электродами. Рассматриваемые ремонтные конструкции не требуют остановки перекачки нефти и могут быть оперативно проведены на ремонтном участке.

Как показывает практика установки ремонтных конструкций на нефтепроводах [5] применение ремонтных муфт без остановки перекачки продукта снижает затраты на 60...70 % по сравнению с другими способами ремонта трубопроводов.

#### **1.4 Базовая технология ремонтной сварки при исправлении дефектов магистрального нефтепровода**

Технология исправления дефекта трубопровода при помощи ремонтной муфты предусматривает выполнение следующих операций:

- зачистка дефектного участка,
- уточнение параметров и границ дефекта,
- установка ремонтной муфты,
- сварка продольных швов муфты,
- сварка кольцевых швов муфты,
- контроль качества сварки.

По результатам дефектоскопического контроля размечают границы ремонтного участка при помощи маркера, выполняют его очистку от изоляционного покрытия. При очистке поверхности трубы необходимо удалить окалину, грязь и ржавчину. Очистка выполняется с применением шлифмашинки и металлической щётки.

Перед исправлением дефекта с установкой ремонтной муфты следует уточнить характер и размеры дефекта. Определение размеров дефекта (длины и глубины) выполняется с использованием мерительного инструмента, к которому относят шаблон сварщика, металлическую рулетку, штангенциркуль и т.д. Определение остаточной толщины стенки и глубины дефекта выполняют при помощи ультразвукового дефектоскопа.

Перед установкой ремонтной муфты необходимо убедиться в том, что место предполагаемого расположения кольцевых швов на трубе свободно от

других дефектов. В противном случае установка ремонтной конструкции выбранного размера не допускается.

При исправлении дефекта в месте установки ремонтной муфты следует снять усиление заводского продольного шва на трубе до высоты 1 мм на расстояние 50 мм в каждую сторону от границ установки ремонтной муфты. Снятие усиления заводского продольного шва выполняется при помощи угловой шлифмашинки и абразивного круга.

Прокалку электродов выполняют в соответствии с указанными на упаковках режимами. После прокалики электродов их следует незамедлительно поместить в резервную печь, разогретую до 80...100 °С. Используемые при сварке электроды вынимаются из печи непосредственно перед сваркой. Если в течение смены не были использованы все электроды, то остаток электродов следует ещё раз прокалить. При этом общее количество прокалок электрода до его использования не должно превышать трёх, в противном случае электроды считаются непригодными для сварки.

Таблица 3 – Химический состав наплавленного металла электродами УОНИ 13/55

Марка электрода	C	Mn	Si	Ni	Mo	S+P
УОНИ 13/55	<0,09	1,05	0,42	-	-	< 0,040

Таблица 4 – Механические свойства наплавленного металла электродами УОНИ 13/55

Марка электрода	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение	Ударная вязкость KCV	Ударная вязкость KCU
	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	Дж/см <sup>2</sup>	Дж/см <sup>2</sup>
УОНИ 13/55	420	530	20	130, +20°C 80, -40°C 34, -60°C	59, -30°C 35, -40°C

Для прокалики электродов используется печь ЭПСЭ-40/400, представленная на рисунке 9-а, в качестве резервных печей для хранения

прокаленных электродов используются две печи ЭПСЭ-10/400, представленные на рисунке 9-б.

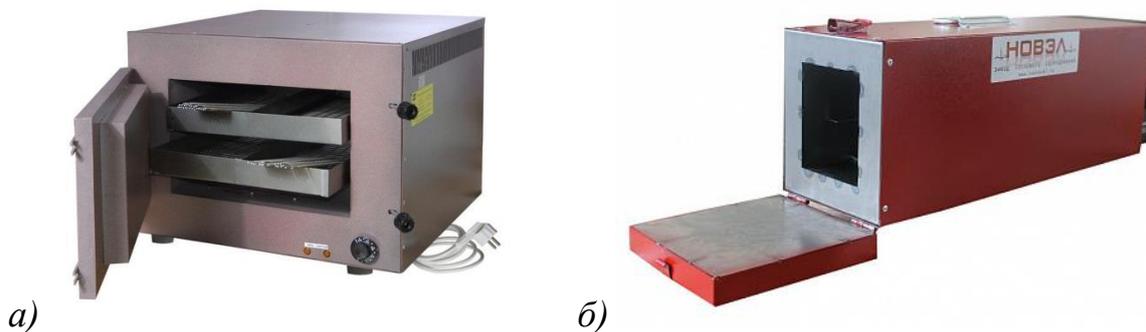


Рисунок 9 – Печи для прокалки и резервного хранения электродов: ЭПСЭ-40/400 (а) и ЭПСЭ-10/400 (б)

Таблица 5 – Параметры прокалки электродов перед сваркой

Марка электрода	Температура прокалки	Время прокалки
УОНИ 13/55	380...420 °С	90...120 мин

При установке ремонтной муфты следует соблюдать минимальное «расстояние от торца муфты до кольцевого сварного шва, которое должно быть не меньше 100 мм. Расстояние от кольцевого шва ремонтной муфты до сварных швов патрубков должно быть не менее 100 мм.

Перед сборкой ремонтной муфты следует выполнить зачистку её кромок на расстояние не менее 20 мм с внутренней и наружной стороны.

При установке ремонтной муфты на трубопровод применяют подъёмную технику и специальную оснастку» [15].

При исправлении дефекта при помощи ремонтной муфты П2ВД выполняют следующие действия: «на место ремонта устанавливают две полумуфты, проводят их сборку на трубе, после чего выполняют сварку продольных швов; далее выполняют сварку кольцевых угловых швов при приварке центрального кольца каждой муфты к трубе нефтепровода; далее с двух сторон центрального кольца устанавливают технологические кольца, состоящие из двух полуколец, после сборки, которых производят сварку продольных швов; далее выполняют сварку кольцевых швов; наружные

концы технологических колец к трубе не привариваются; проводят неразрушающий контроль сварных соединений» [10].

При исправлении дефекта с применением галтельной муфты ПЗВД выполняют следующие действия: «на сварной стык устанавливают две полумуфты с галтелями, производят их сборку, после чего выполняют сварку продольных швов; галтель каждой полумуфты располагается по центру ремонтируемого кольцевого стыка; выполняют сварку кольцевых угловых швов при приварке муфты к трубе нефтепровода; 3) проводят неразрушающий контроль сварных соединений» [10].

При выполнении сварных швов используется многослойная сварка. Каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий. При выполнении облицовочного шва следует добиваться, чтобы усиление шва не превышало 3 мм. При выполнении продольного шва в процессе сварки между собой полумуфт следует обеспечить отсутствие приваривания полумуфт к стенке трубы.

При подготовке кромок полумуфт под сварку с применением продольного шва применяется V-образная разделка, как показано на рисунке 10. Технологический зазор при сборке полумуфт должен составлять 2...4 мм. Для сварки и прихватки используется сварочный выпрямитель ВД-306, представленный на рисунке 11.

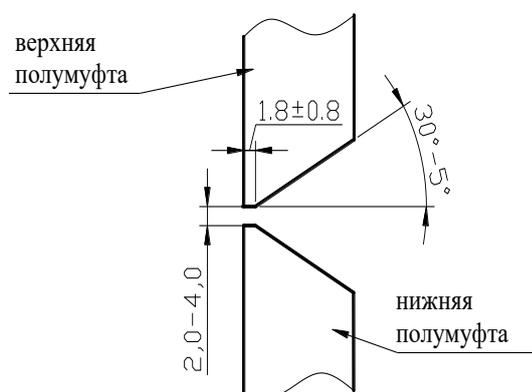


Рисунок 10 – Разделка кромок продольных стыков муфты



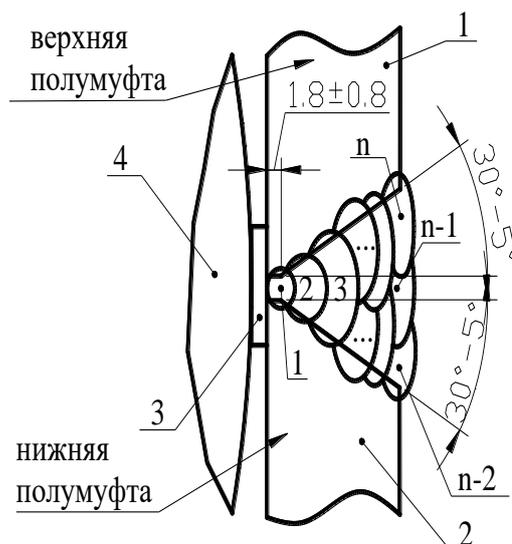
Рисунок 11 – Сварочный выпрямитель ВД-306 УЗ

«Видимые дефекты на прихватках (поры, сетки пор, шлаки и др.) устраняются выборкой с помощью шлифмашинки. Прихватки с недопустимыми дефектами (трещинами, надрывами) удаляют выборкой и повторно заваривают. Во избежание образования дефектов, вход и выход дуги должен проводиться на технологических пластинах, которые после сборки стыков полумуфт прихватываются по краям ремонтных конструкций и удаляются шлифмашинкой после выполнения сварочных работ. Технологические пластины должны иметь аналогичную для сварки разделку кромок. Пластины изготавливаются из металла Ст3, Сталь 20 и др. толщиной от 3 до 5 мм. Длина пластин – не менее 40 мм» [10]. Последовательность наложения швов по сечению продольных сварных соединений приведена на рисунке 12.

Параметры режима, представленные в таблице 7, являются «оптимальными для выполнения ремонта трубопроводов.

Таблица 6 – Режимы ручной дуговой сварки продольных стыков ремонтных конструкций

Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
Корневой	3,0	90...120
Заполняющие	3,0	100...130
	4,0	120...160
Облицовочный	3,0	90...120
	4,0	120...140



1 – верхняя полумуфта; 2 – нижняя полумуфта; 3 – технологическая подкладка; 4 – труба

Рисунок 12 – Последовательность наложения швов по сечению сварного соединения продольных стыков муфт П2ВД, ПЗВД (сварка на технологической подкладке)

Таблица 7 – Режимы ручной дуговой сварки продольных стыков ремонтных конструкций (Род тока – постоянный, полярность обратная)

Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
Наплавочные слои:		
- нижний валик	3,0	90...100
- верхний валик	3,0	90...110
Корневой слой:		
- нижний валик	3,0	100...130
- верхний валик	3,0	90...120
Заполняющие слои:		
- нижний валик	4,0	120...150
- верхний валик	4,0	120...150
Облицовочный слой	3,0	100...130
	4,0	120...140

Сварка муфты с трубой проводится кольцевыми угловыми швами» [10]. Последовательность наложения валиков при сварке представлена на рисунке 13.

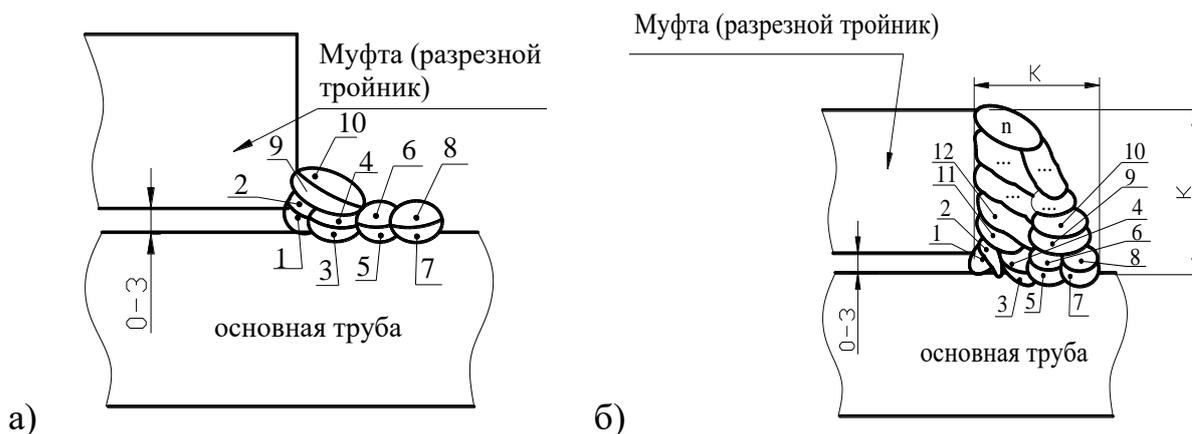


Рисунок 13 – Последовательность наложения слоев при сварке углового шва без подогрева: а) при сварке корневого и первого заполняющего слоев шва; б) при сварке заполняющих и облицовочного слоев шва

Сварные соединения подлежат проверке сразу после их выполнения. Приёмочный контроль проводят: визуально-измерительный (согласно РД 03-606-03), ультразвуковой (согласно ГОСТ 14782).

В ходе визуально-измерительного контроля выполняют проверку сварных швов на соответствие формы и размеров, отсутствие недопустимых дефектов на поверхности. Объём визуально-измерительного контроля – 100 %. В ходе ультразвукового контроля проверяется отсутствие недопустимых дефектов в сварном шве и околошовной зоне. Объём ультразвукового контроля – 30 %.

Не допускаются следующие выявленные при визуально-измерительном контроле дефекты: трещины всех видов и направлений, непровары в корне шва и неполное проплавление, прожоги, несплавления, поверхностные поры размером более 2,0 мм, подрезы глубиной более 2,0 мм, уменьшение катета углового шва, вогнутость корня шва более 1,5 мм, наплывы.

Не допускаются следующие выявленные при ультразвуковом контроле дефекты: непровары и несплавления между слоями шва, внутренние поры более 1,0 мм, скопления и цепочки шлаковых включений.

По внешнему виду сварные швы должны быть: с гладкой или равномерно чешуйчатой поверхностью, иметь плавные переходы к

основному металлу, облицовочные валики должны перекрывать друг друга 1/3 ширины, кратеры должны быть заварены.

Для проведения визуально-измерительного контроля применяется:

- универсальный шаблон сварщика УШС-3;
- штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 с глубиномером;
- линейка металлическая Л-300 (300 мм);
- лупы просмотровые 4х и 7х;
- лупа просмотровая с подсветкой 3,5 х;
- лупа измерительная ЛИЗ-10х;
- рулетка, инструкция РД 03-606-03;
- угольник металлический;
- наборы щупов и радиусных шаблонов;
- фонарик; маркер по металлу;
- футляр для хранения.

Для проведения ультразвукового контроля применяется ультразвуковой дефектоскоп USD-500, набор стандартных образцов, гель для УЗК.

### **1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению производительности и качества выполнения сварочных операций при ремонте магистральных нефтепроводов.

Анализ базовой технологии сварки с применением ручной дуговой сварки штучными электродами позволил сформулировать его недостатки:

- малая производительность сварки;
- тяжёлые условия труда;
- значительное количество дефектов, исправление которых требует затрат времени и сварочных материалов.

Анализ состояния вопроса позволяет сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, решение которых приведёт к достижению поставленной цели:

- выполнить обоснованный выбор способа сварки рассматриваемой ремонтной конструкции;

- составить проектную технологию сварки (выбрать сварочные материалы назначить оптимальные параметры режима, выбрать сварочное оборудование, требования к выполнению технологических операций).

Оценочный блок предусматривает обоснование возможности внедрения в производство предлагаемых технических решений и мероприятий. В ходе его выполнения будут решены ещё две задачи:

- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;

- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

## **2, Проектная технология ремонтной сварки нефтепровода**

### **2.1 Обоснование выбора способа сварки**

Выбор способа сварки рассматриваемого изделия предусматривает выполнение четырёх этапов.

На первом этапе следует перечислить все возможные способы сварки, которые способны обеспечить защиту расплавленного и перегретого металла от действия воздуха. Сварка конструкций из стали 17Г1С может выполняться всеми известными способами [15], [16]:

- газовая сварка,
- ручная дуговая сварка,
- сварка в инертном газе неплавящимся электродом,
- сварка плавящимся электродом в защитных газах,
- лазерная сварка,
- автоматическая сварка под флюсом,
- сварка самозащитной порошковой проволокой.

На втором этапе следует выбрать способы сварки, пригодные для рассматриваемой толщины – 15...25 мм. Для рассматриваемого изделия следует признать в качестве пригодных следующие способы сварки:

- ручная дуговая сварка,
- сварка в инертном газе неплавящимся электродом,
- сварка плавящимся электродом в защитных газах,
- лазерная сварка,
- автоматическая сварка под флюсом.

На третьем этапе выполняют анализ протяжённости и пространственного положения швов. Применительно к рассматриваемому изделию протяжённость швов составляет несколько метров (выполнение кольцевых и продольных швов на ремонтных муфтах), эти швы располагаются в пространстве различным образом. Исходя из этого

применение автоматических способов сварки следует затруднительным.

Поэтому для окончательного анализа следует выделить:

- ручная дуговая сварка,
- автоматическая сварка под флюсом,
- сварка плавящимся электродом в защитных газах,
- сварка порошковой самозащитной проволокой.

На четвёртом этапе следует выполнить анализ преимуществ и недостатков каждого способа сварки.

Ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 14, получила широкое распространение благодаря своим преимуществам: простоте и дешевизне технологического оборудования, составление технологии сварки не требует глубоких профессиональных знаний и метрологического обеспечения. Этот универсальный способ применяется при монтажных работах и выпуске товарной продукции. Пост для ручной дуговой сварки может быть организован с минимальными капитальными затратами. Выпуск новой продукции может быть начат практически сразу.

Ручная электродуговая сварка штучными электродами применяется при выполнении коротких швов длиной до 1000 мм в конструкциях со стыковыми, тавровыми и нахлесточными соединениями. Толщина свариваемого металла может быть 10...50 мм, при этом возможна сварка как без разделки кромок (для малых толщин), так и с разделкой кромок (для больших толщин). Также ручная дуговая сварка штучными электродами применяется при исправлении дефектов сварки, в том числе, и в сварных швах, выполненных другими способами сварки [1], [15].

Сварка под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 15, в основном используется для выполнения стыковых соединений, сварка которых происходит в нижнем положении. Толщина свариваемого металла составляет 10...20 мм для двухсторонней односторонней сварки на флюсовой подушке.

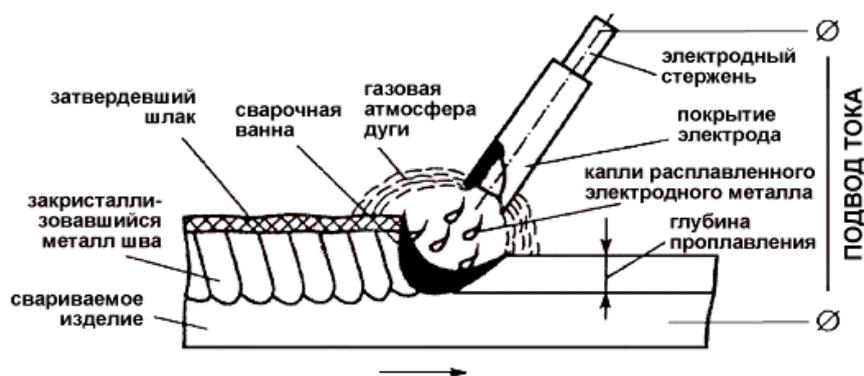


Рисунок 14 – Схема процесса ручной дуговой сварки штучными электродами

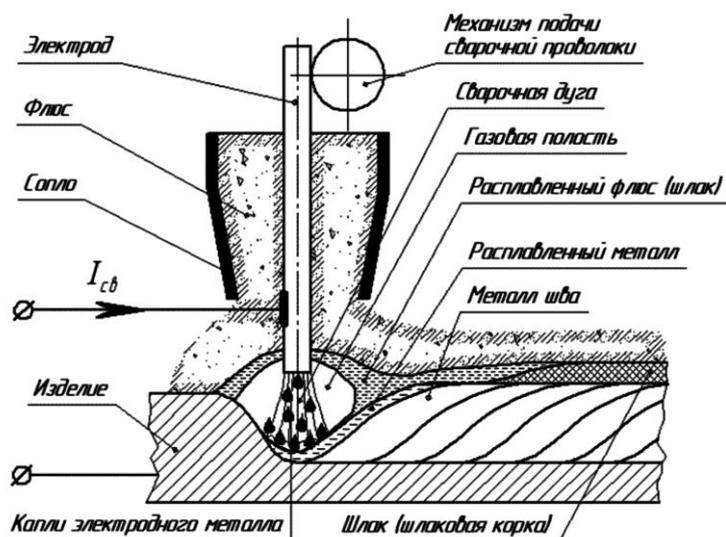


Рисунок 15 – Схема автоматической сварки под флюсом

Преимуществами сварки под флюсом являются:

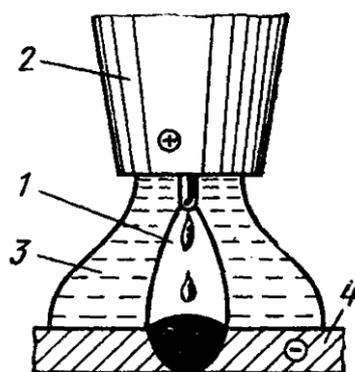
- возможность управления составом наплавленного металла через проволоку и флюс;
- хорошее качество сварки при работах на открытом воздухе;
- высокая производительность и малые потери на угар и разбрызгивание.

Недостатками сварки под флюсом являются:

- возможность осыпания флюса с изделия;
- усложняется сварочное оборудование;
- повышенная жидкотекучесть расплавленного металла и флюса (повышается вероятность непроваров и пор);

- высокие требования к сборке под сварку (возможно вытекание расплавленного металла между кромками).

Механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов, схема которой представлена на рисунке 16, получила широкое распространение при выполнении сварных конструкций. Этот высокопроизводительный способ сварки продолжает совершенствоваться. В числе преимуществ способа следует отметить, во-первых, возможность визуального наблюдения за сваркой, которая ограничена при ручной дуговой сварке. Во-вторых, при сварке в смеси защитных газов практически не образуется шлаковая корка, что существенно повышает производительность из-за отсутствия необходимости промежуточной зачистки слоёв сварного шва. В третьих, следует отметить возможность сварки в различных пространственных положениях, обусловленную низкой текучестью сварного шва по сравнению со сваркой порошковой проволокой.



1 – дуга; 2 – сопло; 3- защитный газ; 4- основной металл

Рисунок 16 – Схема процесса сварки в среде защитных газов плавящимся электродом

Несмотря на явные преимущества, сварка в среде защитных газов имеет ряд недостатков. Первым недостатком является интенсивное разбрызгивание при переходе на формированные режимы сварки. Это не только увеличивает расход сварочных материалов, но снижает производительность и ухудшает качество сварки. Вторым недостатком

является опасность возникновения трещин из-за пониженной текучести расплавленного металла. Также следует отметить, что необходимость применения механизма подачи проволоки и газовых баллонов существенно снижает мобильность способа.

Значительные усилия исследователей направлены на повышение эффективности механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов посвящено большое количество работ [8], [9], [19], [20]. Показано, что повышение качества и производительности сварки в защитных газах, расширение области её применения возможно при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну.

Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика [11], [18].

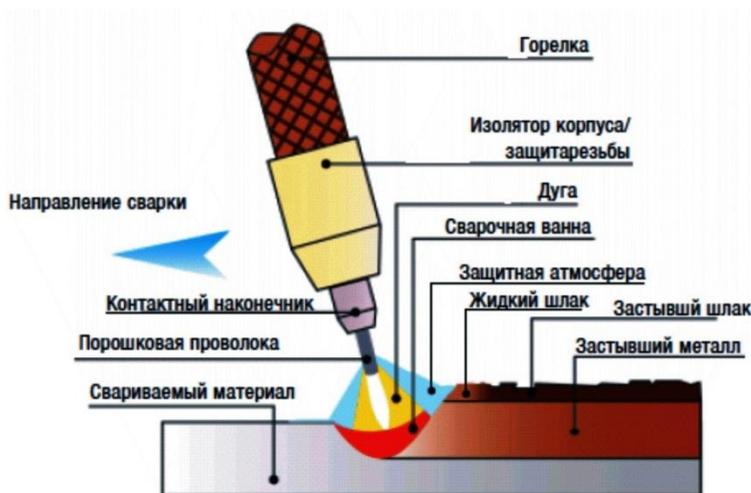


Рисунок 17 – Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой

Недостатками сварки самозащитной порошковой проволокой являются:

- необходимость удаления шлаковой корки с поверхности шва;
- высокая стоимость порошковой проволоки;
- сильное порообразование и возможность получения дефектов в виде пор и шлаковых включений;

- необходимость борьбы с заломы сварочной проволоки из-за её излишней мягкости;

- неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки.

Проведённый анализ альтернативных способов сварки позволил выявить преимущества и недостатки каждого способа и обосновать замену ручной дуговой сварки штучными электродами на более производительный способ сварки - механизированную сварку в смеси защитных газов.

## **2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитных газах**

Эффективность механизированной сварки в защитных газах как технологического процесса в значительной мере зависит от типа плавления и переноса электродного металла. Характер переноса влияет на поведение сварочной дуги, определяя её технологические характеристики (пространственную устойчивость, особенности металлургических реакций в сварочной ванне, тепловой баланс, угар и разбрызгивание). Также характер переноса электродного металла влияет на геометрию сварного шва, в частности, глубину проплавления [8].

Известно несколько типов переноса электродного металла при механизированной сварке в защитных газах [8], [9], в числе которых следует выделить основные: перенос с короткими замыканиями дугового промежутка; перенос без короткого замыкания дугового промежутка, струйный перенос и вращательно-струйный перенос. Кроме капель металл электрода переносится парами, этот процесс в большей или меньшей мере сопровождает все типы переноса. Кроме того, часто можно наблюдать смешанный тип переноса. Кроме того, отдельно следует выделить импульсно-дуговой перенос по принципу «один импульс – одна капля», представленный на рисунке 18.

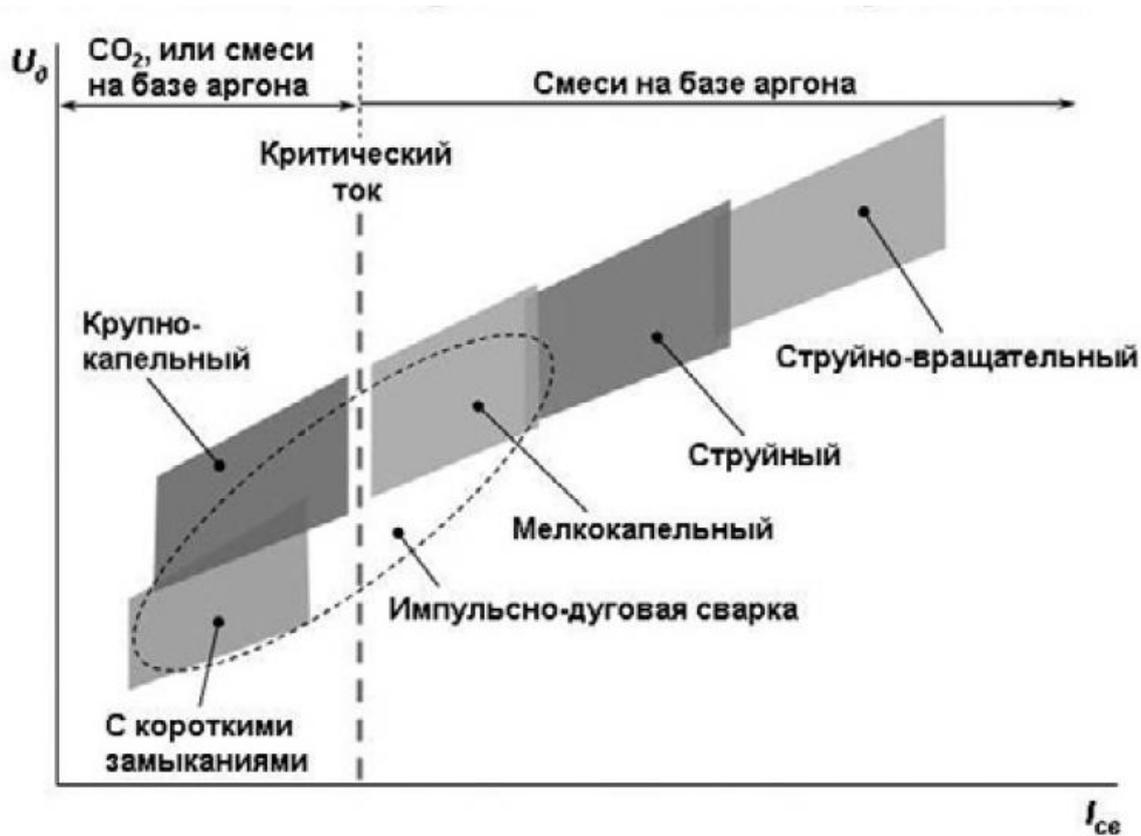


Рисунок 18 – Влияние параметров режима сварки на тип переноса металла

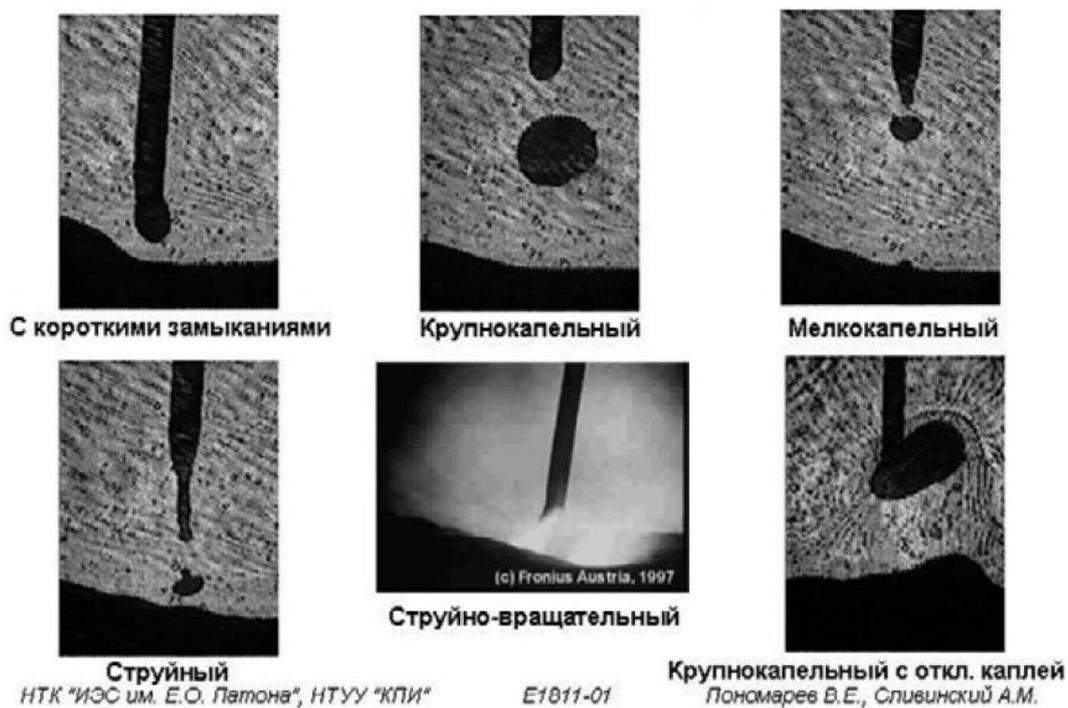


Рисунок 19 – Основные типы переноса металла при механизированной сварке

Структура сварных соединений стали 17Г1С, после стационарного и импульсного режимов сварки представлена на рисунке 20 и рисунке 21. «Шов имеет феррито-перлитную структуру. В центре шва после стационарного режима сварки наблюдаются крупные перлитные зерна с зернами феррита по границам, как показано на рисунке 20-а и рисунке 20-б. В переходной зоне наблюдается измельчение структуры, как показано на рисунке 20-б и рисунке 20-в. Однако размеры зерен этой зоны превышают размеры структурных составляющих свариваемых сталей, как показано на рисунке 20-г. Металлографические исследования сварных соединений после импульсного режима сварки выявили значительное измельчение структурных составляющих металла шва (в 1,5...2,5 раза) и в 2 раза наиболее подверженной структурным изменениям зоны термического влияния, как показано на рисунке 21. Зерна этой зоны по размерам приближаются к структурным составляющим свариваемой стали, как показано на рисунке 21-а» [13].

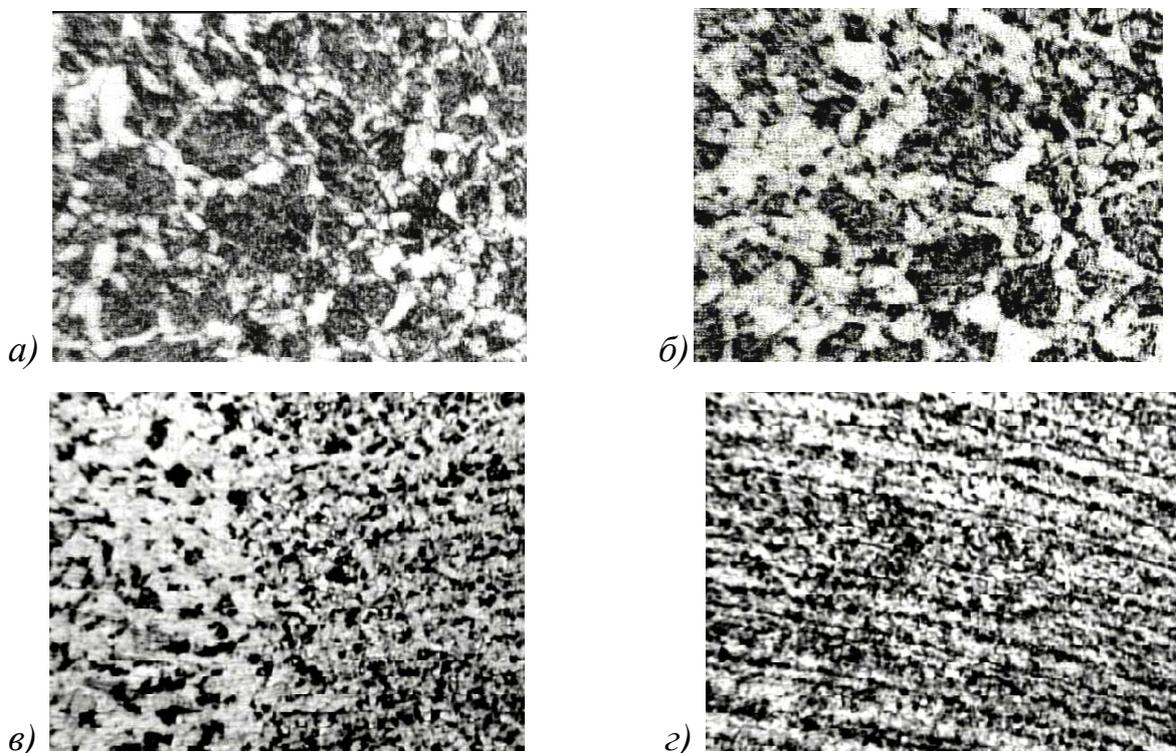


Рисунок 20 – Структура сварного соединения стали 17Г1С после стационарного режима сварки

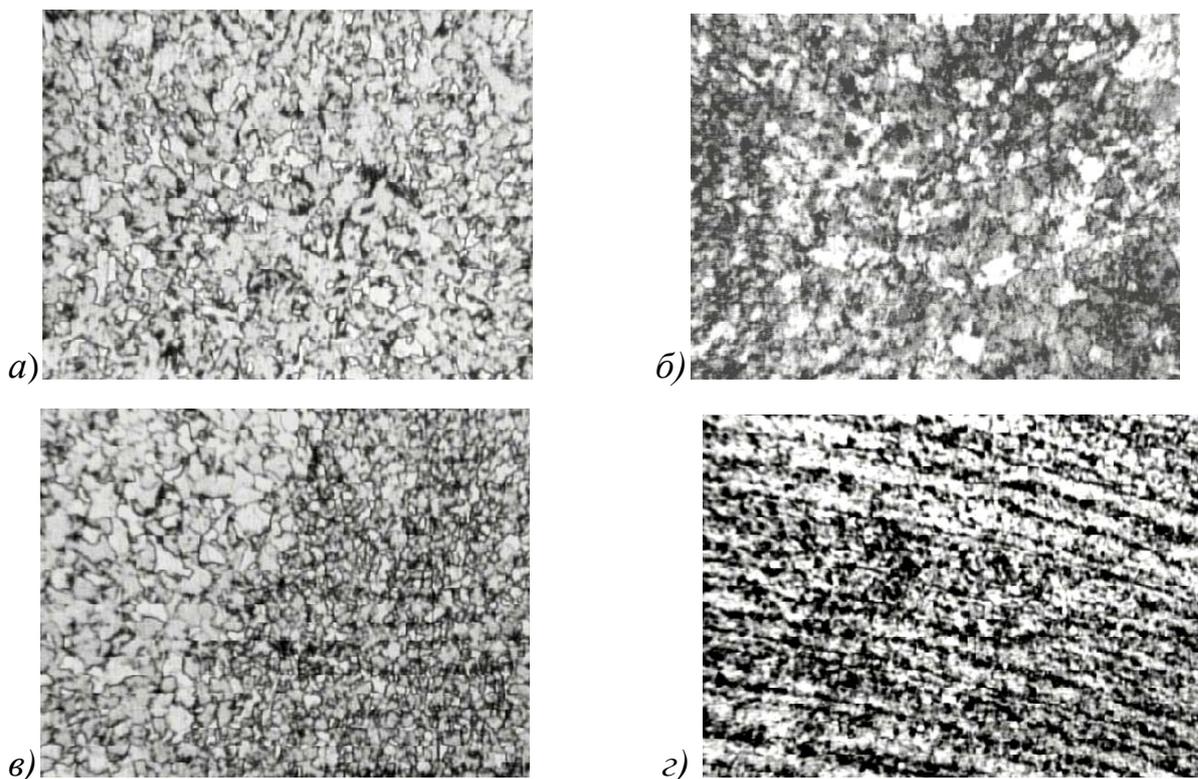


Рисунок 21 – Структура сварного соединения стали 17Г1С после импульсного режима сварки

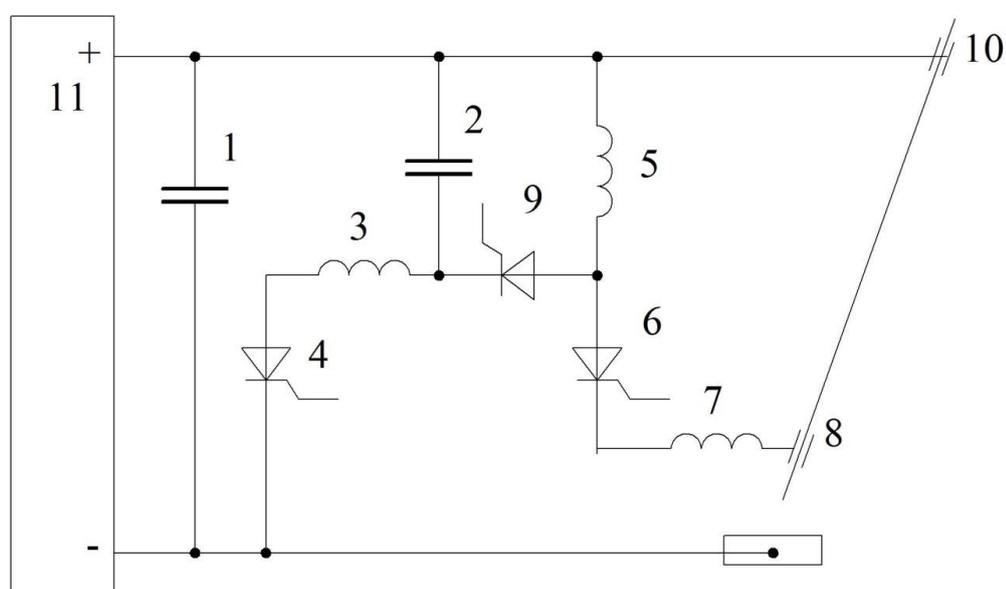
Горение дуги с импульсным управлением позволяет [2]:

- успешно подавлять разбрызгивание электродного металла;
- существенно повысить проплавляющую способность дуги;
- гарантированно формировать обратный валик необходимых размеров;
- уменьшить зону термического влияния;
- существенно снизить вероятность получения подрезов, пор, несплавлений и непроваров.

### 2.3 Способ импульсно-дуговой сварки

Для реализации импульсно-дуговой сварки предложено устройство [7], представленное на рисунке 22, в состав которого помимо источника питания постоянного тока 11 входит: фильтрующий и коммутирующий конденсаторы 1 и 2; зарядный, коммутирующий и силовой дроссели 3, 5 и 7; зарядный, силовой и коммутирующий тиристоры 4, 6 и 9; контактные наконечники 8 и 10.

«Управление переносом электродного металла осуществляется за счёт импульсов тока в цепи: + источника постоянного тока 11 - коммутирующий дроссель 5 - силовой тиристор 6 - силовой дроссель 7 - второй контактный наконечник 8 - сварочная дуга – - источника постоянного тока ИП. Для обеспечения протекания тока паузы при отпирании коммутирующего тиристора 9 к аноду силового тиристора 6 прилагается обратное напряжение перезаряда коммутирующего конденсатора 2 через коммутирующий дроссель 5, предварительно заряженного с помощью зарядного дросселя 3 и зарядного тиристора 4» [7].



1 - фильтрующий конденсатор; 2 - коммутирующий конденсатор; 3 - зарядный дроссель; 4 - зарядный тиристор; 5 - коммутирующий дроссель; 6 - силовой тиристор; 7 - силовой дроссель; 8, 10 - контактные наконечники; 9 - коммутирующий тиристор; 11 - источник питания

Рисунок 22 – Устройство для электродуговой сварки

В паузе «сварочный ток протекает по цепи: плюс источника питания ИП - первый контактный наконечник 10 - участок электрода между контактными наконечниками 10 и 8 - сварочная дуга - минус источника постоянного тока ИП. Сварочный ток в паузе ограничивается за счет сопротивления вылета электрода между контактными наконечниками при этом теплота, выделяемая в вылете электрода, пойдет на повышение начальной температуры торца электрода, и во время следующих импульсов

потребуется меньшее количество энергии на расплавление капель электродного металла.

Теплота, выделяемая на участке между контактными наконечниками 8 и 10, позволяет уменьшить удельное теплосодержание капель расплавленного электродного металла, в два раза повысить производительность сварки и коэффициент полезного действия системы импульсного питания сварочной дуги, а также устранить разбрызгивание при сварке» [7].

На рисунке 23 показаны осциллограммы тока и напряжения при импульсно-дуговой сварке. Горение дежурной дуги происходит на интервале времени  $t_1-t_2$ , при этом ток дежурной дуги минимален и составляет 15...40 А. за этот промежуток времени происходит уменьшение дугового промежутка за счёт подачи электродной проволоки. В момент времени  $t_2$  включается импульс сварочного тока. В момент времени  $t_3$  происходит отрыв капли электродного металла. На интервале времени  $t_3-t_4$  осуществляется дозирование энергии на расплавление следующей капли электродного металла.

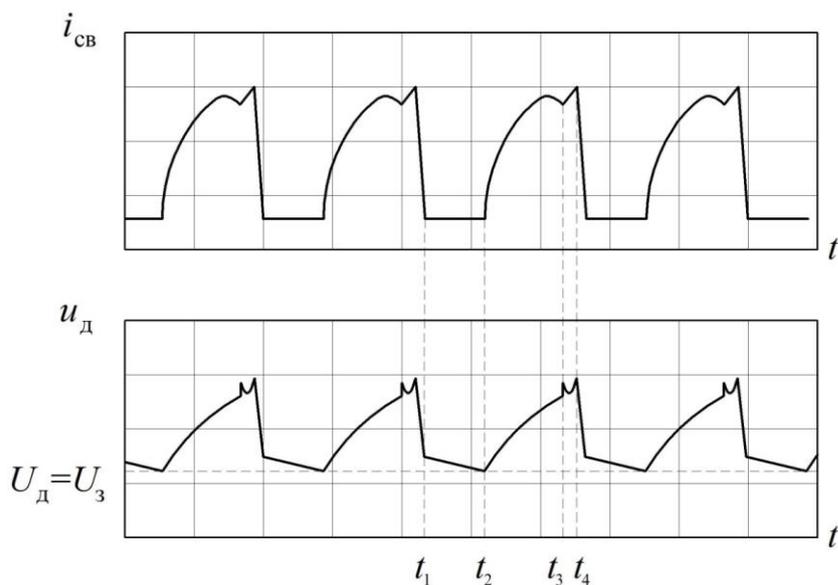


Рисунок 23 – Управление током в предлагаемом способе импульсно-дуговой сварки

Особенностями импульсной дуги являются:

- следование импульсов тока с заданной частотой, которая зависит от скорости подачи проволоки и обычно составляет 30...330 Гц;
- последовательный переход в сварочную ванну одной капли электродного металла за импульс;
- импульс тока характеризуется минимальным и максимальным значениями, причём, максимальные значения тока соответствуют току при длинной дуге;
- минимальные значения тока (т.н. «нижний ток») обеспечивает поддержание горения дуги, которая выполняет функцию очистки поверхности свариваемых деталей.

#### **2.4 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки нефтепровода**

Перед началом сварки проверяется:

- наличие у сварщика допуска к выполнению данной работы;
- качество сборки или наличие соответствующей маркировки на собранных элементах, подтверждающих надлежащее качество сборки;
- состояние кромок и прилегающих поверхностей;
- наличие документов, подтверждающих положительные результаты контроля сварочных материалов;
- состояние сварочного оборудования или наличие документа, подтверждающего надлежащее состояние оборудования;
- температура предварительного подогрева свариваемых деталей (если таковой предусмотрен НТД или ПТД).

Требования к сварочной проволоке:

- качество сварочной проволоки должно соответствовать ГОСТ 2264;
- сварочные проволоки в зависимости от условий поставки могут быть полированными, омеднёнными или осветлёнными;

- упаковка сварочных материалов должна быть проведена согласно требованиям ТУ на эти материалы. Обязательно наличие сертификатов предприятия-изготовителя, которые удостоверяют качество поставленной сварочной проволоки;

- очищенная и намотанная в кассеты сварочная проволока должна храниться в закрытых помещениях, температура в которых не опускается ниже +15 °С. При этом на каждой кассете с проволокой на видимом месте необходимо выполнить маркировку несмываемой краской;

- при намотке проволоки на кассеты следят за тем, чтобы не было перегибов.

Для сварки применяется проволока сплошного сечения диаметром 1,14 мм SuperArc L-56, состав и свойства которой представлены в таблице 8 и таблице 9, а внешний вид – на рисунке 24. Сварку выполняют постоянным током обратной полярности («+» - на электроде). Параметры режима сварки зависят от выполняемого соединения и приведены в таблице 10.



Рисунок 24 – Проволока SuperArc L-56

Таблица 8 – Химический состав проволоки SuperArc L-56

Углерод	Марганец	Кремний	Сера	Фосфор	Медь
0,05...0,15 %	1,40...1,85 %	0,80...1,15 %	< 0,035 %	< 0,025 %	до 0,50 %

Таблица 9 – Механические свойства наплавленного металла

Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относит. удли., %	Ударная вязкость при -29 °С, Дж
564	468	29	54

Таблица 10 – Параметры режима импульсной сварки проволокой SuperArc L-56 диаметром 1,14 мм

Скорость подачи проволоки, дюйм/мин	Пиковый ток, А	Сварочный ток, А	Базовый ток, А	Расход газа, л/мин	Вылет проволоки, мм
90...170	400...420	150...170	35...55	10...12	10...16

Технология исправления дефекта трубопровода при помощи ремонтной муфты предусматривает выполнение следующих операций:

- зачистка дефектного участка;
- уточнение параметров и границ дефекта;
- установка ремонтной муфты;
- сварка продольных швов муфты;
- сварка кольцевых швов муфты;
- контроль качества сварки.

Перед возбуждением сварочной дуги следует «обдуть зону сварки защитным газом. Необходимо следить, чтобы расстояние от сопла горелки до поверхности свариваемой детали не превышало 25 мм.

В процессе сварки сварщик не должен обрывать дугу. В случае обрыва дуги кратер шва и прилегающий к нему участок шва на расстоянии не менее 15 мм должны быть зачищены от шлака. Возбуждение дуги после перерыва следует производить на ранее заваренном участке шва на расстоянии 10...15 мм от кратера.

По окончании сварки обрывать дугу следует после заплавления кратера. Сварочную ванну необходимо обдуть защитным газом до потемнения металла.

После выполнения каждого прохода многослойного шва необходимо подвергнуть его внешнему осмотру с целью выявления трещин и других дефектов. В случае их обнаружения дефекты устраняются до выполнения следующего прохода» [15].

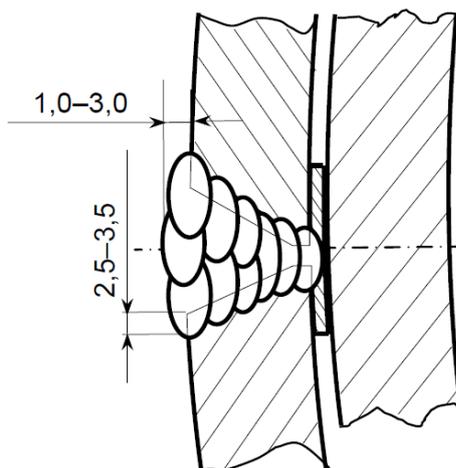


Рисунок 25 – Последовательность наложения слоев при сварке продольных швов муфт и колец

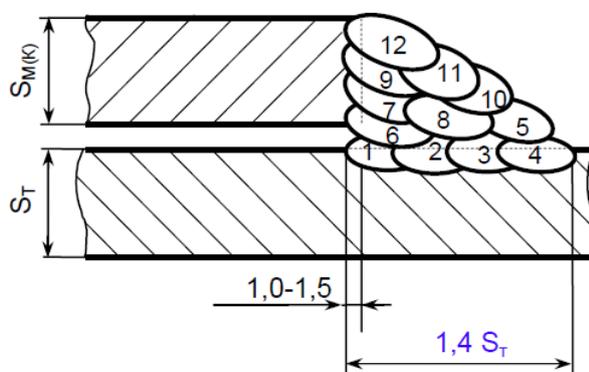


Рисунок 26 – Последовательность сварки кольцевых угловых швов муфт

В процессе сварки проверяется:

- режим сварки;
- последовательность наложения швов;
- размеры накладываемых слоев шва и окончательные размеры шва;
- выполнение специальных требований, предписанных технической документацией;
- наличие клейма сварщика на сварном соединении после окончания сварки.

Контроль качества сварных соединений стальных конструкций производится:

- при выполнении прихваточных швов - внешним осмотром с проверкой геометрических размеров и формы швов в объеме 100 %;

- при выполнении продольных и кольцевых швов - внешним осмотром с проверкой геометрических размеров и формы швов в объеме 100 %; неразрушающими методами (радиографированием или ультразвуковой дефектоскопией) в объеме не менее 30 % длины швов.

Результаты контроля качества сварных соединений стальных конструкций должны отвечать требованиям нормативной документации. Контроль размеров сварного шва и определение величины выявленных дефектов следует производить измерительным инструментом, имеющим точность измерения  $\pm 0,1$  мм, или специальными шаблонами для проверки геометрических размеров швов. При внешнем осмотре рекомендуется применять лупу с 5...10-кратным увеличением. Трещины всех видов и размеров в швах сварных соединений конструкций не допускаются и должны быть устранены с последующей заваркой и контролем.

Контроль швов сварных соединений конструкций неразрушающими методами следует проводить после исправления недопустимых дефектов, обнаруженных внешним осмотром. Выборочному контролю швов сварных соединений, качество которых согласно проекту требуется проверять неразрушающими физическими методами, должны подлежать участки, где наружным осмотром выявлены дефекты, а также участки пересечения швов. Длина контролируемого участка не менее 100 мм.

### **Выводы по второму разделу**

При анализе альтернативных способов сварки, которые могут быть применены при выполнении ремонтной сварки магистрального нефтепровода, были рассмотрены:

- ручная дуговая сварка,
- автоматическая сварка под флюсом,

- сварка плавящимся электродом в защитных газах,
- сварка порошковой самозащитной проволокой.

Анализ преимуществ и недостатков каждого способа сварки позволил обосновать замену ручной дуговой сварки штучными электродами (применяется в базовом варианте технологии) на механизированную сварку проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Рассмотрены пути повышения эффективности механизированной сварки в защитных газах. На основании анализа источников научно-технической информации принято решение использовать сварку с импульсным управлением дугой, для чего предложено использовать устройство согласно Патента РФ № 2429112 [7]. В результате ожидается повышение производительности сварки в два раза, снижение разбрызгивания и повышение качества сварных соединений.

Приведены описания операций технологического процесса сборки и сварки ремонтной конструкции, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал. Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

### **3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при ремонте магистрального нефтепровода.

Проектная технология предусматривает применение механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для закрытия дефекта используется ремонтная стальная приварная муфта, выполняемая из трубной стали.

Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартных средств и мероприятий.

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций, представленных в таблице 11:

- первая операция - зачистка дефектного участка;
- вторая операция - уточнение параметров и границ дефекта;
- третья операция - установка ремонтной муфты;
- четвёртая операция - сварка продольных и кольцевых швов муфты;
- пятая операция - контроль качества.

Таблица 11 - Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1. Зачистка дефектного участка	Слесарь-сборщик	- машинка шлифовальная	- круг абразивный
2. Уточнение параметров и границ дефекта	Дефектоскопист рентгенографирования	- аппарат рентгеновского контроля Арина-5	радиографическая плёнка
3. Установка муфты	Слесарь-сборщик	- сборочное устройство, - шаблон сварщика	- круг абразивный
4. Сварка продольных и кольцевых швов	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- сварочный источник питания, - полуавтомат, - машинка шлифовальная	- сварочная проволока, - защитный газ, - круг абразивный
5. Контроль качества	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат рентгеновского контроля	радиографическая плёнка

На основании анализа данных таблицы 11 может быть выполнена идентификация опасных производственных факторов.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса, что отражено в таблице 12. Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его

потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

Таблица 12 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1. Зачистка дефектного участка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	- машинка шлифовальная
2. Уточнение параметров и границ дефекта	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	- аппарат рентгеновского контроля Арина-5
3. Установка муфты	- 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	- сборочное устройство
4. Сварка продольных и кольцевых швов	- 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; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	- сварочный источник питания, - полуавтомат, - машинка шлифовальная
5. Контроль качества	- радиоактивное излучение; - 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	- аппарат рентгеновского контроля Арина-5

Таким образом, выделено восемь 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,
- радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 13 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок и инструментов	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда

Продолжение таблицы 12

1	2	3
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
8) радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда

На основании идентифицированных профессиональных рисков, возникающих при реализации проектной технологии, возможен последующий их анализ и выработка решений по их снижению до приемлемого уровня, приведённые в таблице 13.

Таким образом, реализация в производстве проектной технологии, операции которой подробно описаны в настоящей выпускной квалификационной работе, сопровождается опасными и вредными производственными факторами. Источниками этих опасных и вредных производственных факторов является применяемое технологическое оборудование и другие объекты производства. Эти источники были

приведены и проанализированы выше при идентификации опасных и вредных производственных факторов.

На основании анализа профессиональных рисков, возникающих при воздействии описанных производственных факторов предложены стандартные мероприятия и средства защиты, которые позволяют полностью устранить влияние опасного фактора. Приведённые мероприятия и меры защиты позволили также снизить влияние вредных производственных факторов до приемлемого уровня.

Предложенные меры позволили исключить травматизм при реализации проектного технологического процесса и защитить работника от получения профессиональных заболеваний.

Однако осуществление проектной технологии предусматривает не только возникновение опасных и вредных факторов, влияющих на участников производственного процесса. Негативному воздействию подвергается окружающая среда. Таким образом, технологический процесс может представлять угрозу за счёт возникновения неблагоприятных экологических факторов (загрязнение воздуха, гидросферы и литосферы).

Кроме того, нормальное протекание технологического процесса может нарушаться при возникновении пожара, который становится ещё одним фактором отрицательного влияния на окружающую среду и участников производства (работающий персонал, производственные здания и оборудование).

Изучению вопроса экологической и пожарной безопасности посвящена вторая половина настоящего раздела выпускной квалификационной работы.

### **3.4 Обеспечение пожарной безопасности**

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного

пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения.

Таблица 14 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сборки и сварка	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	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 15 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара, приведённых в таблице 14, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 15.

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий, представленных в таблице 16.

Таблица 16 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для сборки и сварки (механизованная сварка)	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.

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно

таблице 17 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов, сведённые в таблицу 18.

Таблица 17 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

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
Сборка и сварка (механизованная и автоматическая сварка)	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 18 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя 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.

Анализ представленных в таблице 17 и таблице 18 данных позволяет заключить, что приемлемая экологическая безопасность технологического процесса обеспечивается применением стандартных методик и схем.

## **Выводы по экологическому разделу**

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии ремонтной сварки магистрального нефтепровода.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки с применением механизированной сварки в среде защитных газов позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

## **4 Оценка экономической эффективности проектной технологии**

### **4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений**

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности ремонтной сварки магистрального нефтепровода с использованием ремонтных стальных приварных муфт. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на механизированной сварки в среде защитного газа проволокой сплошного сечения.

Базовая технология ремонтной сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами. Проектная технология предусматривает механизированную сварку с применением сборочного устройства. Составлена проектная технология ремонтной сварки, которая включает в себя следующие операции: зачистка дефектного участка, уточнение параметров и границ дефекта, установка ремонтной муфты, сварка продольных и кольцевых швов муфты, контроль качества.

Такая замена способа восстановления позволяет существенно повысить производительность выполнения восстановительных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии ремонтной сварки.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблицы 19.

Таблица 19 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	$P_p$		IV	IV
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{об}$	Руб.	100000	300000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	8	16
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_а$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 19

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	$S$	$m^2$	100	100
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	$P/m^2$	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	$E_{\text{н}}$	-	0,33	0,33

#### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных, представленных в таблице 19: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{\text{см}} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_{\text{п}} = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_{\text{п}} = 1$  час,

принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

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

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени  $B = 7 \%$ :

$$F_э = F_H (1 - B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

$$F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время  $t_{шт}$  является суммой затрат времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени  $t_{маш}$ ; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени  $t_{всп}$ ; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования)  $t_{обсл}$ ; времени  $t_{отд}$  на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного

времени  $t_{П-3}$ :

$$t_{шт} = t_{МАШ} + t_{ВСП} + t_{ОБСЛ} + t_{ОТЛ} + t_{П-3}. \quad (3)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит:

$$t_{шт.баз} = 2,3 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 1,1 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 2 \text{ ч.}$$

Годовая программа  $П_{Г}$  выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени  $F_{э}$  и согласно (3) штучного времени  $t_{шт}$ :

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (4) после подстановки численных значений:

$$П_{Г.баз.} = 2054/4 = 513 \text{ ремонтных сварок за год;}$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054/2 = 1027 \text{ ремонтных сварок за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы  $П_{Г} = 400$  ремонтных сварок в год.

При этом необходимое количество  $n_{расч}$  оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента  $K_{вн}$  выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем  $K_{вн} = 1,03$ ):

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

Требуемое количество оборудования  $n_{расч}$  для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (5), составляет:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{4 \cdot 400}{2054 \cdot 1,03} = 0,7, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{2 \cdot 400}{2054 \cdot 1,03} = 0,4.$$

Необходимое количество оборудования  $n_{пр}$ , которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному

вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ( $n_{пр} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов загрузки  $K_3$  для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{3б} = 0,7/1 = 0,7, \quad K_{3п} = 0,4/1 = 0,4.$$

#### **4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии**

Проведение ремонтной сварки магистрального трубопровода предусматривает расходование материалов. При ручной дуговой сварке расходным материалом будут штучные электроды. При механизированной сварке расходным материалом будут сварочная проволока и защитный газ. Затраты  $M$  на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов  $H_p$ , цены материалов  $C_m$  и коэффициента  $K_{ТЗ}$  транспортно-заготовительных расходов:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{ТЗ}, \quad (7)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{баз.} = 350 \cdot 0,7 \cdot 1,05 = 257 \text{ руб.},$$

$$M_{проектн.} = (200 \cdot 0,4 + 10 \cdot 12) \cdot 1,05 = 210 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы  $Z_{осн}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени  $t_{шт}$ , часовой тарифной ставки  $C_ч$  и коэффициента  $K_d$  доплат:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (8)$$

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (8) составляет:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 4 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1504 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 752 \text{ руб.}$$

Объём дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{доп}}$  дополнительных доплат ( $K_{\text{доп}} = 12 \%$ ):

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

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (9) после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 1504 \cdot 12/100 = 180 \text{ рублей;}$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 752 \cdot 12/100 = 90 \text{ рублей.}$$

Фонд заработной платы  $\Phi ЗП$  вычисляется как сумма основной  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной  $Z_{\text{доп}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Phi ЗП_{\text{базов..}} = 1504 + 180 = 1684 \text{ рублей;}$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 752 + 90 = 842 \text{ рублей.}$$

Объём отчислений  $O_{\text{сн}}$  из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента  $K_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды:

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

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (10) соответствующих значений:

$$O_{\text{ссбаз.}} = 1684 \cdot 34/100 = 573 \text{ руб.,}$$

$$\text{Осс}_{\text{проектн.}} = 842 \cdot 34 / 100 = 286 \text{ руб.}$$

Затраты  $Z_{об}$  на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат  $A_{об}$  на амортизацию и  $P_{ээ}$  на электрическую энергию:

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

Величина  $A_{об}$  амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования  $C_{об}$ , нормы амортизации  $H_a$ , машинного времени  $t_{маш}$ , и эффективного фонда времени  $F_э$  с использованием зависимости:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot H_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (12) соответствующих значений, составляет:

$$A_{об. баз.} = 100000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 2054 / 100 = 42 \text{ руб.},$$

$$A_{об. пр.} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 2 / 2054 / 100 = 52 \text{ руб.}$$

Расходы  $P_{ээ}$  на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования  $M_{уст}$ , цены электрической энергии  $C_{ээ}$  для предприятий, машинного времени  $t_{маш}$  и КПД оборудования:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{э-э}}{КПД}. \quad (13)$$

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{ээ баз} = 8 \cdot 4 \cdot 3,2 / 0,7 = 146 \text{ руб.},$$

$$P_{ээ пр} = 16 \cdot 2 \cdot 3,2 / 0,85 = 121 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$Z_{об\text{баз.}} = 42 + 146 = 188 \text{ руб.},$$

$$Z_{об\text{проектн.}} = 52 + 121 = 173 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  рассчитывается как сумма затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы  $\Phi ЗП$ , отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$  и затрат на оборудование  $Z_{об}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{ПЛ}} \quad (14)$$

Рассчитанная после подстановки в (14) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 257 + 1684 + 573 + 188 + 78 = 2780 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 210 + 842 + 286 + 173 + 39 = 1550 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость  $C_{\text{цех}}$  рассчитывается с учётом технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{цех}}$  цеховых расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 2780 + 1,5 \cdot 1504 = 2780 + 2256 = 5036 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 1550 + 1,5 \cdot 752 = 1550 + 1128 = 2678 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость  $C_{\text{зав}}$  рассчитывается с учётом цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента  $K_{\text{зав}}$  заводских расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (16) соответствующих значений заводская себестоимость «по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{ЗАВБаз.} = 5036 + 1,15 \cdot 1504 = 5036 + 1730 = 6766 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 2678 + 1,15 \cdot 752 = 2678 + 865 = 3543 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 20.

Таблица 20 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	<i>М</i>	257	210
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	1684	842
3. Отчисления на соц. нужды	<i>Осн</i>	573	286
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	188	173
5. Расходы на площади	<i>Зпл</i>	78	39
5. Технологическая себестоимость	<i>Стех</i>	2780	1550
6. Цеховые расходы	<i>Рцех</i>	2256	1128
7. Цеховая себестоимость	<i>Сцех</i>	5036	2678
8. Заводские расходы	<i>Рзав</i>	1730	865
9. Заводская себестоимость	<i>Сзав</i>	6766	3543

Данные таблицы позволяют судить об экономической эффективности проектной технологии» [6]. Таким образом, на основании данных таблицы 20 можно заключить, что внедрение проектной технологии позволяет значительно уменьшить затраты и себестоимость сварки.

#### 4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты  $K_{\text{общ.б.}}$  для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования  $C_{\text{об.б.}}$ ,

коэффициента загрузки оборудования  $K_{з.б.}$  рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{общ.б.} = Ц_{ОБ.Б} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Остаточную стоимость  $Ц_{об.б.}$  оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования  $Ц_{перв.}$ , срока службы оборудования  $T_c$  и нормы амортизации  $H_a$  оборудования:

$$Ц_{об.б.} = Ц_{ПЕРВ.} - (Ц_{ПЕРВ.} \cdot T_{СЛ} \cdot H_A / 100). \quad (18)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (18) соответствующих значений, составляет:

$$Ц_{ОБ.Баз.} = 100000 - (100000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 35500 \text{ рублей}$$

$$K_{ОБЩ.Баз.} = 35500 \cdot 0,7 = 24850 \text{ рублей}$$

Капитальные затраты  $K_{общ. пр.}$  для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование  $K_{об. пр.}$ , вложений в производственные площади  $K_{пл. пр.}$ , сопутствующих вложений  $K_{соп.}$ :

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

Капитальные вложения  $K_{об. пр.}$  в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования  $Ц_{об. пр.}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{зп}$  по проектному варианту:

$$K_{об. пр.} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп}. \quad (20)$$

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (20) соответствующих значений составляет:

$$K_{об. пр.} = 300000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 126000 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения  $K_{\text{соп}}$  по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  базового оборудования и расходов на монтаж  $K_{\text{монт}}$  проектного оборудования:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}. \quad (21)$$

Расходы на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  и монтаж  $K_{\text{монт}}$  рассчитываем с учётом стоимости оборудования  $C_{\text{б}}$  и  $C_{\text{пр}}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{м}}$  на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (21), (22) и (23) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 100000 \cdot 0,05 = 5000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 300000 \cdot 0,05 = 15000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 5000 + 15000 = 20000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (19) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ. пр}} = 126000 + 20000 = 146000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения  $K_{\text{доп}}$  рассчитываем исходя из капитальных затрат  $K_{\text{общ. пр}}$  и  $K_{\text{общ. б}}$  для проектного и базового вариантов технологии:

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

$$K_{\text{доп}} = 146000 - 24850 = 121150 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений  $K_{\text{уд}}$  рассчитываем с учётом годовой программы  $L_{\text{г}}$ :

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 24850/400 = 62 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{удПроктн.} = 146000/400 = 365 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени  $t_{шт.б.}$  и  $t_{шт.пр.}$  по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad . \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{4-2}{4} \cdot 100\% = 50\%$$

Расчёт повышения производительности труда  $П_T$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ :

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$П_T = (100 \cdot 50)/(100-50) = 100 \text{ \%}.$$

Расчёт снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$  при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{2780 - 1550}{2780} \cdot 100\% = 44\%$$

Расчёт условно-годовой экономии  $\text{Пр}_{\text{ож}}$  (ожидаемой прибыли), которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (29)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (29) соответствующих значений составила:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (6766 - 3543) \cdot 400 = 1289200 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости  $T_{\text{ок}}$  дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (30)$$

Срок окупаемости после подстановки в (30) соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = \frac{121150}{1289200} = 0,1$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (31) соответствующих значений составил:

$$\text{Эг} = 1289200 - 0,33 \cdot 121150 = 1249220 \text{ руб.}$$

### **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии ремонтной сварки магистрального нефтепровода применяется ручная дуговая сварка штучными электродами. Недостатком базовой технологии является высокая вероятность получения сварного шва с порами и неоднородной структурой. Также следует отметить низкую производительность способа по сравнению с перспективными высокотехнологичными способами сварки.

Проектный вариант технологии предполагает использование механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 50 %, повышение производительности труда на 100 %, уменьшение технологической себестоимости на 44 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1,289 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,249 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,1 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества выполнения сварочных операций при ремонте магистральных нефтепроводов.

Анализ базовой технологии сварки с применением ручной дуговой сварки штучными электродами позволил сформулировать его недостатки:

- малая производительность сварки;
- тяжёлые условия труда;
- значительное количество дефектов, исправление которых требует затрат времени и сварочных материалов.

На основании анализа источников научно-технической информации построение проектной технологии ремонтной сварки предложено выполнять с использованием механизированной сварки в защитном газе.

Составлена проектная технология ремонтной сварки, предусматривающая выполнение следующих операций: зачистка дефектного участка, уточнение параметров и границ дефекта, установка ремонтной муфты, сварка продольных и кольцевых швов муфты, контроль качества сварки.

Приведены описания операций технологического процесса ремонтной сварки, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,225 млн. рублей.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белинский С. М., Гарбуль А. Ф., Гусаковский В. Г. Оборудование для дуговой сварки: справ. пособие. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
2. Верёвкин А. А. Повышение эффективности сварки в CO<sub>2</sub> неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Томский политехнический университет. 2010.
3. ГОСТ 19281-89 Прокат из стали повышенной прочности. Общие технические условия
4. ГОСТ 20295-85 Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия
5. Зайнуллин Р. С., Воробьев В. А., Александров А. А. Повышение безопасности нефтепродуктопроводов ремонтными муфтами. Уфа : РИО РУНМЦ МО РБ. 2005. 119 с.
6. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
7. Патент № 2429112 РФ, МПК В 23 К 9/095. Устройство для электродуговой сварки / Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Крампит М. А. № 2009147554/02, заявл. 21.12.2009; опубл. 20.09.2011, Бюл. № 26. 6 с.
8. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
9. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнолопя, 2007. 192 с.
10. РД 75.180.00-КТН-193-08. Технология установки ремонтных конструкций на трубопроводы диаметром 1067 и 1020 мм с давлением 10 МПа, 2008.

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

12. 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.

13. Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Полетика И. М., Тютев А. В. Улучшение структуры и свойств сварных соединений труб большого диаметра из низколегированной стали при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. 2004. № 12. С. 34–38.

14. Сараев Ю. Н., Полетика И. М., Козлов А. В., Кирилова Н. В., Никонова И. В. Влияние режима сварки на структуру, распределение твердости и механические свойства в сварных соединениях паропровода // Сварочное производство. 2002. № 8. С. 3–8.

15. Сварка в машиностроении : справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.]. М. : Машиностроение, 1978. Том 2. / Под ред. А. И. Акулова, 1979. 462 с.

16. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.

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

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

19. Dilthy U., Reisgen U., Stenke V. Schutzgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. 1995. № 2. P. 118–123.

20. Lucas W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // Welding and Metal Fabrication. 1992. № 6. P. 269–276.