

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  
газопровода диаметром 720 мм

Студент

А.А. Устин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Магистральный газопровод – это ответственная металлическая конструкция, ошибки эксплуатации которой неминуемо приведут к повышению техногенных рисков. Безаварийная эксплуатация магистрального газопровода обеспечивается при условии правильно проведённых строительных работ, а также своевременным выполнением ремонтных работ.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качество при ремонте магистрального газопровода диаметром 720 мм.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- выполнить обоснованный выбор способа сварки при ремонте магистрального газопровода;

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

Анализ возможных способов сварки позволил обосновать выбор механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения как основного способа при построении проектной технологии сварки. Была составлена проектная технология сварки стыка газопровода, назначены параметры режима сварки и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,95 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,1 года.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние ремонтной сварки магистральных газопроводов. . . . .	7
1.1 Описание газопровода . . . . .	7
1.2 Сведения о материале газопровода . . . . .	8
1.3 Базовая технология сварки . . . . .	10
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы . . . . .	16
2 Проектная технология сварки магистрального газопровода. . . . .	18
2.1 Обоснование выбора способа сварки . . . . .	18
2.2 Подготовка кромок труб и сборка стыка . . . . .	23
2.3 Предварительный подогрев . . . . .	25
2.4 Сварка стыка . . . . .	27
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса . . . . .	32
3.1 Технологическая характеристика объекта . . . . .	32
3.2 Идентификация профессиональных рисков . . . . .	33
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков . . . . .	35
3.4 Обеспечение пожарной безопасности . . . . .	37
3.5 Обеспечение экологической безопасности . . . . .	39
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии. . . . .	41
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений . . . . .	41
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	43
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	44
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	46
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам	

технологии. ....	50
4.6 Показатели экономической эффективности. ....	53
Заключение. ....	56
Список используемой литературы и используемых источников. ....	57

## Введение

Одной из отраслей народного хозяйства, продолжающих стабильно работать в условиях мирового кризиса и пандемии, является трубопроводный транспорт. Влияние трубопровода в жизни Российской Федерации трудно переоценить, ведь по нему осуществляется прокачка за рубеж нашего народного достояния – природного газа.

Магистральный газопровод – это ответственная металлическая конструкция, ошибки эксплуатации которой неминуемо приведут к повышению техногенных рисков. Безаварийная эксплуатация магистрального газопровода обеспечивается при условии правильно проведённых строительных работ, а также своевременным выполнением ремонтных работ.

Стабильность поставки энергоресурсов в первую очередь определяется состоянием и правильностью эксплуатации магистральных трубопроводов [4]. Самым эффективным энергоносителем является природный газ, поставки которого позволяют удовлетворить потребности домохозяйств и промышленности. Применение природного газа повышает эффективность передачи теплоты и позволяет использовать высокоэкономичные тепловые агрегаты, отвечающие последним требованиям экологических стандартов.

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.

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.

Одним из самых распространённых диаметров труб для прокладки магистральных газопроводов на внутрироссийском рынке является диаметр 720 мм.

При строительстве и ремонте магистральных газопроводов основной технологической операцией является операция сварки. При этом в основном распространение получила ручная дуговая сварка с применением покрытых штучных электродов, которая обладает наибольшей универсальностью и мобильностью по сравнению с другими способами сварки. Однако малая производительность и большое число дефектов, зависящих в значительной степени от квалификации сварщика, заставляют повсеместно заменять этот способ сварки на более производительные способы. Повышение качества сварки также повышает производительность, так как уменьшаются затраты времени на исправление дефектов.

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качество при ремонте магистрального газопровода диаметром 720 мм.

# **1 Современное состояние ремонтной сварки магистральных газопроводов**

## **1.1 Описание газопровода**

Предприятие «Газпром трансгаз-Самара» осуществляет поставку природного газа в ульяновскую область по нескольким магистральным газопроводам. Первый газопровод «Старая Бинарадка – Димитровград - Ульяновск» был запущен в эксплуатацию с 1969 года. Вторым газопроводом «Новоспасск - Ульяновск» был запущен в эксплуатацию с 1985 года. Развитие инфраструктуры области способствовало росту потребления природного газа. Согласно статистике, потребление природного газа возрастает каждый год на 15...20 %, начиная с 2001 года. Вторая ветка газопровода-отвода «Сызрань - Ульяновск» позволила дополнительно поставлять 5,4 млрд. кубометров природного газа в год.

Газопровод проходит по территории Терингульского и Ульяновского районов Ульяновской области и территории Сызранского района Самарской области. Протяженность рассматриваемого участка магистрального газопровода составляет 152 км, диаметр труб – 720 мм.

Согласно нормативной документации [16] при капитальном ремонте газопровода могут применяться три метода. Первый метод предполагает ремонт газопровода переизоляцией. При реализации второго метода выполняют демонтаж линейной части трубопровода и замену труб на новые трубы. Реализация третьего метода предполагает выборочный ремонт, который выполняют на отдельных участках трубопровода.

При выполнении ремонта газопровода по второму методу (предполагающему замену линейной части) технологические операции аналогичны строительству нового газопровода.

Работы при параллельной прокладке участка осуществляются в два этапа: на первом этапе прокладывается новый участок газопровода

параллельно действующему; на втором этапе новый участок подключается к действующему газопроводу. При этом возможны два варианта подключения:

- при невозможности остановки работы участка действующего газопровода подключение осуществляется с использованием технологии врезки под давлением в действующий газопровод в соответствии с СТО Газпром 2-2.3-116;

- отключается действующий участок газопровода, и после освобождения газа новый участок подключается к действующей системе.

Заменяемый участок газопровода подлежит демонтажу, включая очистку, отбраковку, разрезку и складирование в соответствии с нормативной документацией [10].

## 1.2 Сведения о материале газопровода

Трубы для строительства газопровода изготовлены из стали 09Г2С.

Механические свойства стали 09Г2С, приведённые в таблице 1, обуславливают её широкое применение при изготовлении ответственных металлических конструкций, содержащих сварные швы. Сварные конструкции из стали 09Г2С могут продолжительное время работать под давлением при температуре окружающего воздуха от -70 до +425 °С. Заменителями стали 09Г2С могут считаться такие стали, как 09Г2, 09Г2Т, 09Г2ДТ и 10Г2С.

Механические свойства и химический состав стали 09Г2С приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Механические свойства стали 09Г2С в соответствии с ГОСТ 19282-73

$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
460	300	31



При сварке конструкций из стали 09Г2С нет необходимости применять предварительный подогрев или проводить термическую обработку, т.е. сталь 09Г2С сваривается без ограничений всеми способами сварки.

Реакция стали 09Г2С на термический цикл при сварке, отличающаяся от реакции обычной низкоуглеродистой стали [20], обуславливается химическим составом стали 09Г2С, приведённым в таблице 2.

Таблица 2 –Химический состав стали 09Г2С в соответствии с ГОСТ 2591-2006

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
до 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	До 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,008	~96-97

При сварке конструкций из стали 09Г2С в металле сварного шва и околошовной зоне в повышение скорости охлаждения может привести к образованию закалочных структур. При этом кроме феррита и перлита может образовываться мартенсит, бейнит и остаточный аустенит. В зависимости от температурного цикла содержание этих структур в стали существенно изменяется. Если погонная энергия сварки уменьшается, повышается количество и дисперсность мартенсита, бейнита и остаточного аустенита.

Образующиеся при сварке стали 09Г2С могут незначительно влиять на свойства сварных соединений, если они равномерно расположены и дезориентированы в ферритной основе металла. Однако при росте скорости охлаждения количество закалочных структур увеличивается, что приводит к резкому уменьшению пластичности металла и снижению его стойкости хрупкому разрушению. Такие химические элементы, как кремний и марганец, увеличивают содержание закалочных структур. Исходя из этого, при сварке конструкций из стали 09Г2С необходимо назначать режимы с меньшей, по сравнению с низкоуглеродистой сталью, погонной энергией.

Легирование металла сварного шва химическими элементами из основного металла позволяет получить равнопрочность шва и основного

металла. Также, склонность к хрупкому разрушению и прочность металла шва может быть повышена легированием элементами из сварочной проволоки.

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями, сварные конструкции из стали 09Г2С имеют меньшую стойкость против кристаллизационных трещин [3]. Это объясняется действием углерода, марганца и кремния. Повышение стойкости против кристаллизационных трещин достигается уменьшением в металле шва серы и углерода. Для этого необходимо применять сварочную проволоку со сниженным содержанием серы и углерода. Определяющее значение в повышении прочности сварных соединений из стали 09Г2С имеет рациональная последовательность выполнения сварных швов, обеспечение правильности его геометрии.

### **1.3 Базовая технология сварки**

Базовая технология сварки газопровода при ремонте его линейной части предусматривает выполнение следующих операций:

- подготовка кромок,
- сборка,
- предварительный подогрев,
- сварка,
- контроль качества.

При выполнении первой операции (подготовка кромок) зачищают поверхность до металлического блеска на ширину 15 мм от кромок. При этом применяют шлифмашинку. Перед выполнением сборки труб под сварку следует осмотреть их поверхность и кромки. Если в процессе осмотра обнаружены царапины, риски или задиры, то их устранение выполняют с применением шлифования. Если в процессе осмотра обнаружены забоины и задиры фасок глубиной до 5 мм, необходимо заплавить их с применением ручной дуговой сварки и предварительного подогрева до температуры

100...130 °С. Для нагрева используют машину кислородной резки «Комета», температуру предварительного подогрева контролируют с применением термокарандаша или пирометра.

По всему периметру трубы выполняют ультразвуковой контроль на ширину 40 мм от торца с применением ультразвукового дефектоскопа УД-303. При этом выявляют расслоения стенки трубы, если они обнаружены, торец трубы обрезают на длину 300 мм и повторно выполняют ультразвуковой контроль.



Рисунок 1 – Разделка кромок

Для заварки дефектов используют сварочный выпрямитель ВД-306Д, электроды ОК 35.70 диаметром 3,2 мм.

При выполнении второй операции (сборка) применяют наружный центратор. Смещение кромок стыкуемых поверхностей не должно быть больше 3 мм. При сборке соблюдается технологический зазор  $3 \pm 0,5$  мм. Если получаемый технологический зазор меньше указанного, необходимо выполнить калибровочный пропил.

При сборке труб необходимо соблюдать условие смещения продольного заводского шва одной трубы относительно продольного заводского шва другой трубы, который должен быть не менее 100 мм.

Предварительный подогрев осуществляется с применением газопламенного нагревательного устройства до температуры 100...130 °С. Нагрев следует вести на ширину 75 мм от торца труб. Температуру контролируют в 4-х точках, при этом точки контроля температуры должны

находиться на расстоянии 10...15 мм от торца трубы и быть равномерно разнесены по периметру трубы.

Температуру предварительного подогрева контролируют при помощи пирометра ИК-6020 и термокарандаша.

После предварительного подогрева выполняют «прихватку, применяя электроды LB-52U диаметром 3,2 мм или электроды ОК 35.70 диаметром 2,6 мм.

Таблица 3 – Значения параметров режима сварки стыка трубопровода

Сварочные слои	Марка электрода	Ø, мм	Полярность	Сварочный ток, А
Корневой	ОК-53.70 или LB-52U	2,5	обратная	70 – 90
		3,2		80 – 120
Заполняющие	ОК 53.70	3,2	обратная	90 – 120
		4		130 – 170
Облицовочный	ОК 53.70	3,2	обратная	80 – 110
		4		130 – 160

При выполнении прихваток применяются те же параметры режима сварки, что и при выполнении корневого слоя шва согласно таблице 3. Расположение прихваток должно быть не ближе 100 мм от продольного заводского шва трубы» [3]. Прихватку выполняют те же сварщики, что будут заваривать стык. Требования по качеству к прихваткам такие же, что и к корневому слою шва.

После прихватки следует зачистить их поверхность с применением шлифмашинки.

Сварку корневого слоя шва ведут электродами LB-52U диаметром 3,2 мм или электродами ОК 35.70 диаметром 2,6 мм на параметрах режима, представленных в табл. 1.3. При выполнении корневого слоя шва следует полностью переплавлять прихватки. Наружный центратор допускается снимать при условии выполнения не менее 60 % периметра корневого слоя шва.

После того, как выполнен корневой слой шва, следует зачистить его поверхность при помощи шлифмашинки и выполнить визуальный контроль качества. Если в процессе визуального контроля качества были обнаружены такие дефекты, как непровары, несплавления, смещение кромок более 2 мм, их необходимо подварить изнутри. Подварочный шов выполняют перед заполняющим слоем, ширина подварочного шва 8...10 мм, усиление подварочного шва – 1...3 мм.



Рисунок 2 – Параметры сварного шва

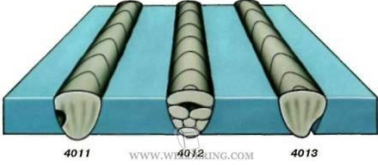


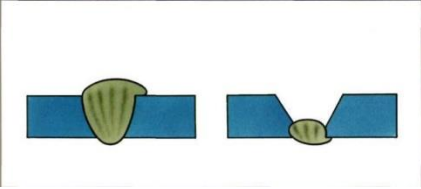
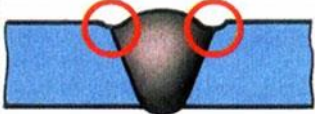
Заполняющий и облицовочные слои шва выполняются электродами ОК 35.70 диаметром 3,2 мм или 4 мм на параметрах режима согласно таблице 3. Сварку следует вести непрерывно до полного заполнения разделки. После выполнения каждого прохода следует послойно зачищать шов, удаляя брызги металла и шлак.

После сварки выполняют «контроль качества сварного шва: визуально-измерительный (в объёме 100 %) и радиографический (в объёме 100 %).

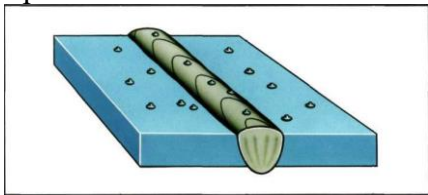
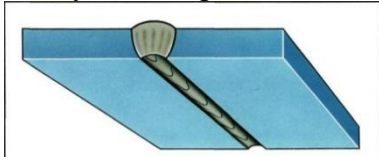
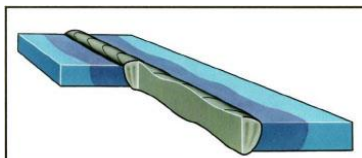
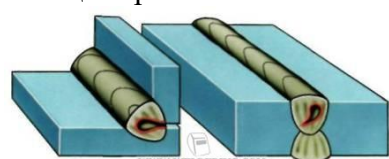
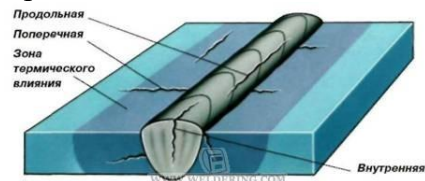
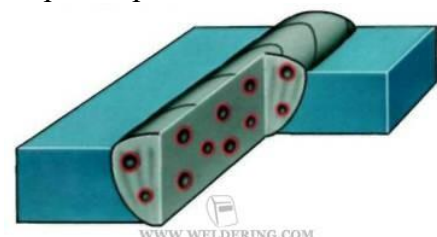
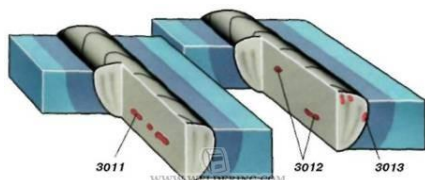
При визуально-измерительном контроле проверяют качество выполнения облицовочного слоя шва, который должен иметь плавные переходы к основному металлу. Не допускаются наплывы и подрезы глубже 0,5 мм, незаваренные кратеры, свищи и выходящие на поверхность поры» [3].

При радиографическом контроле проверяется отсутствие трещин и непроваров.

Таблица 4 – Сведения о дефектах сварки по базовой технологии [1], [5]

Дефекты 1	Причины образования дефектов 3
<p>Непровары</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- недостаточная величина технологического зазора при сборке;</li> <li>- ошибки при подготовке кромок (увеличенное притупление кромок);</li> <li>- плохая зачистка поверхности перед сваркой;</li> <li>- недостаточное качество послойной зачистки;</li> <li>- несоблюдение параметров режима сварки (малая погонная энергия);</li> <li>- неправильное ведение электрода при сварке</li> </ul>
<p>Прожоги</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сборка торцев труб со значительным смещением кромок;</li> <li>- несоблюдение параметров режима сварки – малая погонная энергия;</li> <li>- превышение величины технологического зазора заданного значения;</li> <li>- ошибки при подготовке кромок (недостаточное притупление кромок);</li> <li>- деформации деталей при сварке</li> </ul>
<p>Кратеры</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неправильное ведение электрода при сварке</li> </ul>
<p>Наплывы на сварном соединении</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки);</li> <li>- повышенное падение напряжения на дуге при её чрезмерной длине;</li> <li>- несоблюдение параметров режима сварки</li> <li>- чрезмерная величина сварочного тока</li> </ul>
<p>Подрезы зоны сплавления.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки);</li> <li>- несоблюдение параметров режима сварки (чрезмерная величина сварочного тока);</li> <li>- неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки)</li> </ul>

Продолжение таблицы 4

1	3
<p>Брызги металла</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки);</li> <li>- повышенное падение напряжения на дуге при её чрезмерной длине;</li> </ul>
<p>Вогнутость корня шва</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- избыточная величина технологического зазора при сборке;</li> <li>- ошибки при подготовке кромок (недостаточное притупление кромок);</li> </ul>
<p>Занижение шва</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- избыточная величина технологического зазора при сборке;</li> <li>- ошибки при подготовке кромок (чрезмерная величина угла разделки);</li> <li>- неправильное ведение электрода при сварке</li> </ul>
<p>Свищ сварного шва.</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- недостаточное качество основного металла;</li> <li>- нарушение газовой защиты.</li> </ul>
<p>Трещины</p>  <p>Продольная          Поперечная          Зона термического влияния          Внутренняя</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- термообработка проведена не сразу после сварки</li> <li>- при сварке была нарушена газовая защита сварочной ванны;</li> <li>- недостаточное качество основного металла;</li> <li>- чрезмерная скорость сварки вызвала увеличение скорости охлаждения</li> </ul>
<p>Поры сварного шва</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- недостаточное качество основного металла.</li> <li>- некачественная прокалка электродов перед сваркой;</li> <li>- неправильное ведение электрода при сварке (чрезмерная длина дуги);</li> <li>- нарушение подготовки свариваемых кромок;</li> <li>- при сварке была нарушена газовая защита сварочной ванны;</li> <li>- неправильно выбран диаметр электрода;</li> <li>- чрезмерная скорость сварки вызвала увеличение скорости охлаждения</li> </ul>
<p>Включения</p>  <p>3011 3012 3013</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неправильное ведение электрода при сварке;</li> <li>- плохая зачистка поверхности перед сваркой;</li> <li>- при сварке была нарушена газовая защита сварочной ванны;</li> <li>- недостаточное качество основного металла</li> </ul>

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 рентгеновского контроля применяется дефектоскоп РПД-200.

#### **1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

В выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качество при ремонте магистрального газопровода диаметром 720 мм.

Базовая технология сварки газопровода при ремонте его линейной части предусматривает выполнение следующих операций:

- подготовка кромок,
- сборка,
- предварительный подогрев,
- сварка,
- контроль качества.

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 при ремонте магистрального газопровода;

- 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 сварки магистрального газопровода

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки

Выбор способа сварки рассматриваемого изделия предусматривает выполнение нескольких 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 09Г2С может выполняться всеми известными способами [14], [15]:

- 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 – 10 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 порядка одного метра (выполнение кольцевых швов при стыке труб). 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 основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов сварки выполним их экспертную оценку согласно таблице 5, на основании которой для построения проектной технологии сварки предложим механизированную сварку в защитном газе проволокой сплошного сечения.

Таблица 5 – Обоснование выбора способа сварки

Показатель	Способ сварки			
	Ручная дуговая	Под флюсом	В защитном газе	Порошковой самозащитной проволокой
Мобильность способа	4	1	2	3
Качество сварного шва	1	4	3	2
Условия труда	1	3	4	2
Стоимость оборудования	4	1	2	3
Стоимость сварочных материалов	2	3	4	1
Производительность	1	4	2	3
ВСЕГО	13	16	17	13

Ручная электродуговая сварка штучными электродами, схема выполнения которой представлена на рисунке 3, 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 [2], [14].

Сварка под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 4, 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. 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.

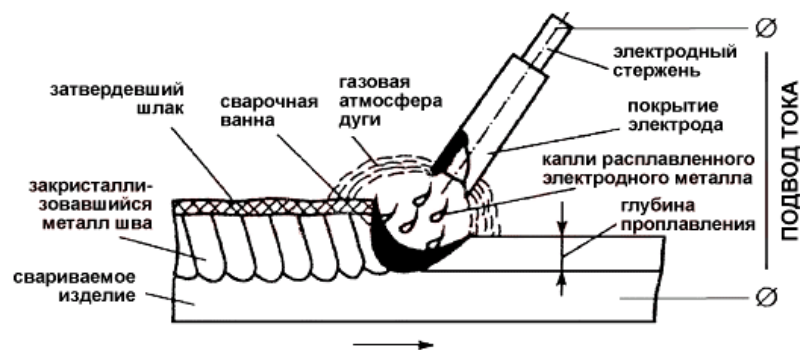


Рисунок 3 – Схема процесса ручной дуговой сварки штучными электродами

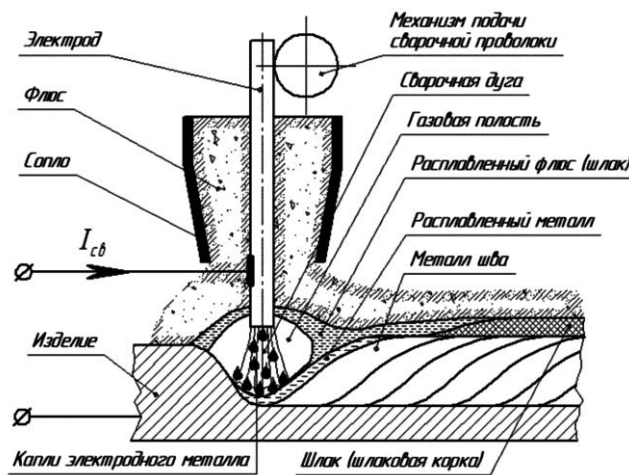
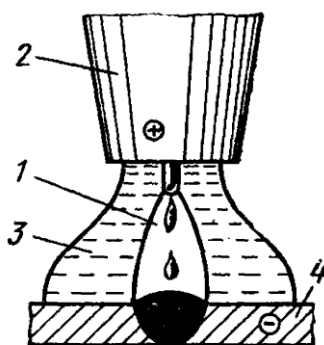


Рисунок 4 – Схема автоматической сварки под флюсом

Недостатками сварки под флюсом являются:

- возможность сыпания 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 в среде защитных газов с применением проволоки сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 5, 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 5 – 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 формованные 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], [11], [12], [18], [19]. 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 сварки самозащитной порошковой проволокой, схема выполнения которой представлена на рисунке 6, позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика [13], [17].



Рисунок 6 – 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 заломами сварочной проволоки из-за её излишней мягкости;
- неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки.

Выполненный анализ альтернативных способов сварки позволяет судить об эффективности применения того или иного способа сварки. При этом ручную дуговую сварку штучными электродами (базовый вариант технологии сварки) целесообразно заменить на более производительный способ сварки - механизированную сварку в смеси защитных газов.

## **2.2 Подготовка кромок труб и сборка стыка**

Сборе труб под сварку должен предшествовать осмотр кромок и поверхности труб. «Обнаруженные на наружной поверхности труб царапины, риски и задиры устраняют при помощи шлифования, если их глубина составляет 0,2...0,5 мм, а исправление не превысит минусовой допуск на толщину стенки по ТУ или ГОСТ.

Недопустимо выполнять ремонт любых повреждений (забоин, задиров и т.д.) с применением сварки, а также не допускается исправление вмятин на концах труб при помощи правки.

Если обнаружены недопустимые дефекты, следует выполнить машинную кислородную резку трубы, обеспечивая получение скоса кромки 25...30°.

Ультразвуковой контроль выполняют по всему периметру трубы, при этом ширина контролируемого участка составляет 40 мм от резаного торца. Если в ходе ультразвукового контроля были обнаружены расслоения, следует отрезать торец трубы на расстояние не менее 300 мм и выполнить повторный ультразвуковой контроль.

Усиление заводского шва на трубах следует сошлифовать снаружи трубы до величины 0,5...1,0 мм на длине 10...15 мм от торца трубы» [16].

«Прилегающие к кромкам наружная и внутренняя поверхности труб на ширину 15 мм должны быть зачищены до металлического блеска при помощи шлифмашинки с дисковой проволочной щёткой.

Для выполнения механической обработки торцов труб следует применять станок для подготовки кромок PFM 3456, представленный на рисунке 7.

Сборку труб под сварку следует выполнять на наружном центраторе без прихваток.

При сборке следует следить, чтобы расстояние между заводскими швами стыкуемых труб составляло не менее 100 мм (при этом рекомендуемое расстояние составляет 250 мм). Рекомендуется располагать трубы так, чтобы заводские швы находились в верхней половине периметра стыка» [16].



Рисунок 7 – Подготовка кромок труб с использованием станка PFM 3456



Сборку «стыкового соединения труб следует выполнять без зазора. Допускается локальный зазор в собранном стыке, величина которого не превышает 0,5 мм на участках, длина которых составляет не более 100 мм.

При сборке следует контролировать смещение кромок. Смещение кромок необходимо равномерно распределять по периметру стыка, при этом величина наружного смещения кромок должна быть не более 2,0 мм. Допускаются локальные смещения кромок, имеющие величину до 3,0 мм.

При сборке недопустима подгонка с применением ударного инструмента» [16].

### **2.3 Предварительный подогрев**

«Перед сваркой следует провести предварительный подогрев стыка. Для предварительного подогрева применяется установка индукционного нагрева, представленная на рисунке 8. Температура предварительного подогрева составляет +100...130 °С.

Необходимо обеспечивать равномерность подогрева по толщине стенки и периметру стыка, подогрев ведётся на расстоянии не менее 150 мм от стыка (в каждую сторону от стыка не менее 75 мм).

Температура предварительного подогрева замеряется на наружной поверхности труб в четырёх местах, которые должны быть равномерно расположены в каждой четверти периметра стыка. При этом термомпары располагают на расстоянии 10...15 мм и 60...75 мм в обе стороны от свариваемых кромок.

Для предварительного подогрева используется набор водоохлаждаемых кабелей для индукционного нагрева труб (производство «Унитех», [www.unitechufa.ru](http://www.unitechufa.ru)), включающий гибкий кабель ВГИК (Водоохлаждаемый гибкий индукционный кабель), являющийся индуктором, и два токоподвода (ВИТ – Водоохлаждаемый индукционный токоподвод и МТК – Малоиндукционный токоподводящий кабель)» [3].

Кабель ВГИК представляет собой гофрированную гибкую трубку диаметром 25...30 мм из нержавеющей стали или латуни толщиной 0,2...0,3 мм, помещенную в медную оплетку, являющуюся основной токопроводящей частью кабеля. Снаружи кабель изолирован термостойкой резиной, стеклотканевым и асботканевым чехлом. Кабель ВГИК выпускается нескольких модификаций в зависимости от величины и частоты рабочего тока (на ток 800, 1000 и 1200 А частотой от 50 Гц до 10 кГц).

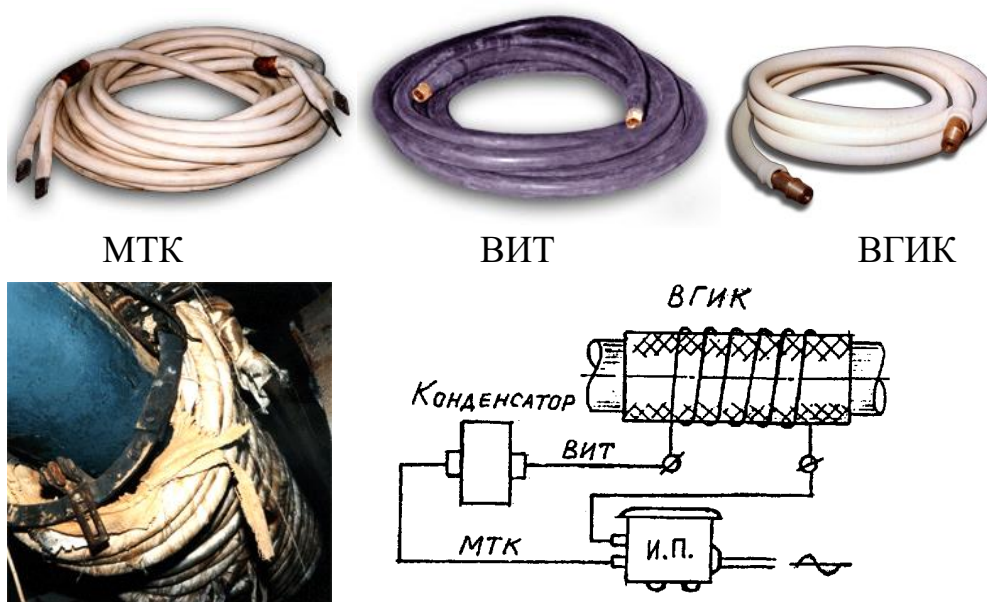


Рисунок 8 – Элементы для индукционного нагрева ВГИК, ВИТ и МТК и схема их подключения



Рисунок 9 – Сварочный трансформатор ТДМ-501

При выполнении предварительного подогрева в качестве источника питания применим сварочный трансформатор ТДМ-501, представленный на рисунке 9.

## 2.4 Сварка стыка

Выполнение механизированной сварки предусматриваем с использованием технологии STT. В качестве проволоки сплошного сечения принимаем проволоку производства Lincoln Electric марки L-56 диаметром 1,14 мм. Также для сварки могут быть применены аттестованные аналоги этой проволоки.

Проволока SuperArc L-56, представленная на рисунке 10, «предназначена в первую очередь для сварки по металлам, покрытым слоем окалины - от среднего до значительного. Для достижения максимального качества сварки её следует использовать по чистым поверхностям без следов смазки и ржавчины.

Проволока содержит значительные количества кремния и марганца в качестве раскислителей. Внешний вид сварочного шва и смачивающие свойства выше требуемых по классификации ER70S-3 и ER70S-4. Сварщики особенно отличают эту проволоку за мягкость дуги и прекрасную подачу» [16].



Рисунок 10 – Проволока SuperArc L-56

Таблица 6 – 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 7 – Механические свойства наплавленного металла

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

«Параметры режима сварки выбираются согласно рекомендациям фирмы Lincoln Electric, приведённых в таблице 8. Вылет электрода составляет 9,5...15,9 мм. Обычной ошибкой при сварке является слишком большой вылет. Для лучшего контроля за вылетом электрода необходимо, чтобы контактный наконечник выступал от торца сопла сварочной горелки на расстоянии 6,4 мм» [16].

Таблица 8 – Параметры режима сварки по технологии STT 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

Полуавтоматическая сварка STT корневого шва неповоротных стыков труб «ведется на спуск, как на рисунке 11. Процесс начинается в верхней части трубы в положении 12-ти часов. Возбуждение дуги производится на одной из кромок. Затем дуга переносится на противоположную кромку, формируя при этом сварочную ванну. На этом участке трубы сварка осуществляется с дугообразными колебаниями небольшой амплитуды. Дугу следует располагать внутри сварочной ванны в первой 1/4 или 1/3 от ее переднего фронта. Нельзя располагать дугу на передней кромке сварочной ванны. В позициях от 12-ти до 2-го часа сварка производится углом назад. При этом угол наклона электрода составляет 45 градусов. Совершая дугообразные колебания, не задерживаясь на кромках трубы. Прямолинейные колебания с кромки на кромку приводят к увеличению

проплавления. Большая глубина проплавления достигается, если дуга горит внутри сварочной ванны» [16].

«С позиции 2-го часа до 4-го часа амплитуду колебаний можно уменьшить и затем совсем прекратить их, продолжая двигаться вдоль стыка и располагая дугу внутри сварочной ванны в первой трети от ее переднего фронта. Угол наклона электрода на этом участке уменьшают до 10...20 градусов.

В позиции 4-6 часов колебания можно возобновить и увеличить угол наклона электрода до 20...30 градусов. При прекращении сварки необходимо прерывать дугу на одной из кромок. По внешнему виду наплавленного валика можно судить о необходимости корректировки сварочных параметров» [16].

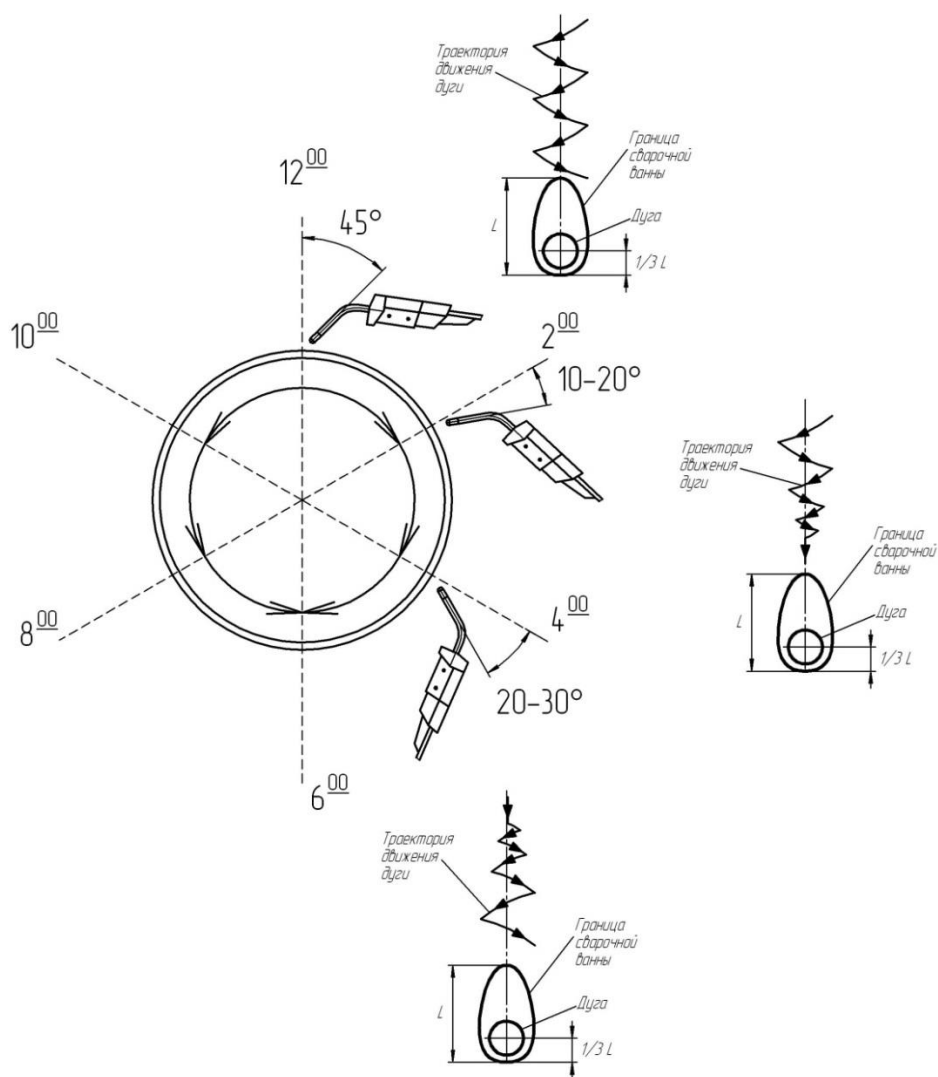


Рисунок 11 – Техника сварки стыка труб по технологии STT



Рисунок 12 – Источник питания Invertec STT-II  
с механизмом подачи проволоки LF-33

«Сварка осуществляется аппаратом Invertec STT-II, представленным на рисунке 12, который представляет собой сварочный источник, реализующий процесс STT (Surface Tension Transfer) - перенос металла силами поверхностного натяжения» [16].

### **Выводы по второму разделу**

При анализе альтернативных способов сварки, которые могут быть применены при выполнении ремонтной сварки магистрального газопровода, 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.

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

Проектный технологический процесс предусматривает выполнение следующих операций:

- подготовка кромок,
- сборка,
- предварительный подогрев,
- сварка,
- контроль качества.

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 сварочных работ при ремонте магистральных трубопроводов. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Проектная технология предусматривает применение механизированной сварки в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения. Проектный технологический процесс предусматривает выполнение операций, особенности выполнения которых представлены в таблице 9: подготовка кромок, сборка, предварительный подогрев, сварка, контроль качества.

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 стандартным средств и мероприятий. Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.



Таблица 9 - 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. Подготовительная операция	Слесарь-сборщик	Толщиномер ультразвуковой, орбитальная газовая резка, ультразвуковой дефектоскоп, Разжимное приспособление, газовая горелка, источник ВД-306Д	Круг абразивный, кислород, ацетилен, ветошь, рукавицы
2. Сборка	Электросварщик	Центратор, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки	Углекислый газ, сварочная проволока
3. Предварительный подогрев	Электросварщик	Установка индукционного нагрева, контактные термопары	Термокарандаш
4. Осуществление сварки на трубопроводе	Электросварщик	Сборочное приспособление, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки	Углекислый газ, сварочная проволока
6. Проведение контроля качества сварных стыков труб	Дефектоскопист	Ультразвуковой дефектоскоп	-

### 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 согласно таблице 10. 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 к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его действия на организм.

Таблица 10 – 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. Подготовительная операция	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> </ul>	Толщиномер ультразвуковой, орбитальная газовая резка, разжимное приспособление, источник ВД-306Д
2. Сборка		Сборочное приспособление, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки
3. Предварительный подогрев	<ul style="list-style-type: none"> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> </ul>	Установка индукционного нагрева
4. Осуществление сварки на трубопроводе	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение</li> </ul>	Сборочное приспособление, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки
6. Проведение контроля качества сварных стыков труб	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования</li> </ul>	Ультразвуковой дефектоскоп

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 11 – 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 персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	- размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; - проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	- применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; - размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	- применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; - 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	- организация защитного заземления; - проведение периодического инструктажа по технике безопасности; - периодический контрольный замер изоляции; - периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	- проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; - механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	- применение защитных экранов; - применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	- применение защитных экранов; - применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	- размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; - уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	-

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. 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 12, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения согласно таблице 13.

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.

Таблица 12 – 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 сборка и сварка трубопровода	«Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, дефектоскоп, машинка шлифовальная, индукционный подогреватель» [6]	«пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [6]	«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» [6].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [6].

Таблица 13 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Таблица 14 – 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 (механизированная и сварка)	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [6].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [6].

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблице 14.

### 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 15 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов согласно таблице 16.

Таблица 15 – 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 16 – 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» [6]
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» [6].

## **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 сборки и сварки при ремонтной сварке магистрального трубопровода.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки с применением механизированной сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения 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 сварки при ремонте магистральных трубопроводов. 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: подготовка кромок, сборка, предварительный подогрев, сварка, 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 таблице 17.

Таблица 17 – 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	150	150
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.	80000	250000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	8	10
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 4.1

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	$S$	$m^2$	20	20
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	$E_n$	-	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 согласно таблице 17: 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:

$$t_{шт.баз} = 6,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 8 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 2,5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 3 \text{ ч.}$$

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:

$$П_{Г.баз.} = 2054/8 = 256 \text{ ремонтных сварок за год;}$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054/3 = 668 \text{ ремонтных сварок за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы  $П_{Г} = 200$  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:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{8 \cdot 200}{2054 \cdot 1,03} = 0,76, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{3 \cdot 200}{2054 \cdot 1,03} = 0,28.$$

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 ( $n_{\text{пр}} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}}. \quad (6)$$

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

$$K_{3б} = 0,76/1 = 0,76, K_{3п} = 0,28/1 = 0,28.$$

#### **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  $K_{\text{ТЗ}}$  транспортно-заготовительных расходов:

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

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

$$M_{\text{баз.}} = 400 \cdot 5 \cdot 1,05 = 2100 \text{ рублей}$$

$$M_{\text{проектн.}} = (200 \cdot 4 + 7,5 \cdot 300) \cdot 1,05 = 3203 \text{ рублей}$$

Объём основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$  и коэффициента  $K_{\text{д}}$  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:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 8 \cdot 150 \cdot 1,88 = 2256 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 3 \cdot 150 \cdot 1,88 = 846 \text{ руб.}$$

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:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 2256 \cdot 12 / 100 = 271 \text{ рублей;}$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 846 \cdot 12 / 100 = 102 \text{ рублей.}$$

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:

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 2256 + 271 = 2527 \text{ рублей;}$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 846 + 102 = 948 \text{ рублей.}$$

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:

$$O_{\text{сн.баз.}} = 2527 \cdot 34 / 100 = 859 \text{ руб.,}$$

$$\text{Осс}_{\text{проектн.}} = 948 \cdot 34 / 100 = 322 \text{ руб.}$$

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:

$$A_{об. баз.} = 80000 \cdot 21,5 \cdot 8 / 2054 / 100 = 67 \text{ руб.},$$

$$A_{об. пр.} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 79 \text{ руб.}$$

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:

$$P_{ээ баз} = 8 \cdot 8 \cdot 3,02 / 0,7 = 276 \text{ руб.},$$

$$P_{ээ пр} = 10 \cdot 3 \cdot 3,02 / 0,85 = 107 \text{ руб.}$$



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

$$Z_{об\text{баз.}} = 67 + 276 = 343 \text{ рублей,}$$

$$Z_{об\text{проектн.}} = 79 + 107 = 186 \text{ рублей.}$$

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  $Z_{\text{об}}$ :

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

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 2100 + 2527 + 859 + 343 = 5829 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 3203 + 948 + 322 + 186 = 4659 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 5829 + 1,5 \cdot 2256 = 5829 + 3384 = 9213 \text{ руб.,}$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 4659 + 1,5 \cdot 846 = 4659 + 1269 = 5928 \text{ руб.}$$

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:

$$C_{ЗАВБаз.} = 9213 + 1,15 \cdot 2256 = 9213 + 2594 = 11807 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 5928 + 1,15 \cdot 846 = 5928 + 972 = 6900 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 18. «Данная таблица позволяет оценить затраты на реализацию базовой и проектной технологий.

Таблица 18 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	2100	3203
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	2527	948
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	859	322
4. Объём финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	343	186
5. Технологическая себестоимость	Стех	5829	4659
6. Объём цеховых расходов	Рцех	3384	1269
7. Величина цеховой себестоимости	Сцех	9213	5928
8. Объём заводских расходов	Рзав	2594	972
9. Величина заводской себестоимости	$C_{ЗАВ}$	11807	6900

Данные таблицы позволяют судить об экономической эффективности проектной технологии» [9]. Таким образом, на основании данных таблицы 18 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):

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

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

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

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

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 80000 - (80000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 28400 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 28400 \cdot 0,76 = 21584 \text{ рублей}$$

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

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

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

$$K_{\text{об. пр.}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{ТЗ}} \cdot K_{\text{ЗП}} \quad (20)$$

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

$$K_{\text{об. пр.}} = 250000 \cdot 1,05 \cdot 0,28 = 73500 \text{ руб.}$$

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:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 80000 \cdot 0,05 = 4000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 4000 + 12500 = 16500 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = 73500 + 16500 = 90000 \text{ руб.}$$

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:

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

$$K_{\text{доп}} = 90000 - 73500 = 16500 \text{ руб.}$$

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

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

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 73500/200 = 368 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{удПроектн.} = 90000/200 = 450 \text{ руб./ед.}$$

#### 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:

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

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{8-3}{8} \cdot 100\% = 63\%$$

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$П_T = (100 \cdot 63)/(100-63) = 233 \text{ \%}.$$

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:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{5829 - 4659}{5829} \cdot 100\% = 20\%$$

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

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

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

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (11807 - 6900) \cdot 200 = 981400 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{90000}{981400} = 0,1$$

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

$$\text{Э}_{\text{г}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

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

$$\text{Эг} = 981400 - 0,33 \cdot 90000 = 951700 \text{ руб.}$$

### **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии ремонтной сварки магистрального трубопровода 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 63 %, повышение производительности труда на 233 %, уменьшение технологической себестоимости на 20 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 0,98 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,95 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 качество при ремонте магистрального газопровода диаметром 720 мм.

Анализ альтернативных способов восстановления деталей машин выполнен с рассмотрением таких способов, как ручная дуговая сварка, автоматическая сварка под флюсом, сварка плавящимся электродом в защитных газах, сварка порошковой самозащитной проволокой.

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: подготовка кромок, сборка, предварительный подогрев, сварка, контроль качества.

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 0,95 млн. рублей.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели.

На основании изложенного можно рекомендовать к внедрению в производство полученные результаты выпускной квалификационной работы.



## Список используемой литературы и используемых источников

1. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Контроль качества сварочных работ. М. : Высшая школа, 1986. 207 с.
2. Белинский С. М., Гарбуль А. Ф., Гусаковский В. Г. Оборудование для дуговой сварки : справ. пособие. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
3. Бут В. С., Олейник О. И. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 42–50.
4. Варламов Д. П., Дедешко В. Н., Канайкин В. А., Стеклов О. И. Повышение надежности магистральных газопроводов при использовании многократной внутритрубной дефектоскопии // Автоматическая сварка. 2012. № 3. С. 28–34.
5. Волченко В. Н. Контроль качества сварных конструкций. М. : Машиностроение, 1986. 152 с.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Егоров А. Г., Виткалов В. Г., Уполовникова Г. Н., Живоглядова И. А. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие. Тольятти: ТГУ, 2012. 135 с.
8. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы. 2016. № 4. С. 18–23.
9. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
10. Порядок технической инвентаризации, учета и использования труб, демонтированных при капитальном ремонте и реконструкции магистральных газопроводов ОАО «Газпром» (утвержден ОАО «Газпром» 07.03.2006 г.).

11. 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.
12. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : ЭкоТехнолопя, 2007. 192 с.
13. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.
14. 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.
15. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
16. СТО Газпром 2-2.3-231-2008 Правила производства работ при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов ОАО «Газпром» (утвержден ОАО «Газпром» 04.04.2008 г.)
17. 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.
18. Dilthy U., Reisgen U., Stenke V. Schutgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. 1995. № 2. P. 118–123.
19. Lucas W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // Welding and Metal Fabrication. 1992. № 6. P. 269–276.
20. Wilson D. V., Tromans T. K. Effect of strain aging on fatigue damage in low-carbon steel // Acta Metallurgica. 1970. vol. 18. P. 1197–1208.