

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы

(наименование)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология изготовления ремонтно-соединительной муфты  
для трубопровода

Обучающийся

Е.А. Хаванов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.т.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, связанных с расширением технологических возможностей изготовления сварных муфт для ремонта магистральных и технологических трубопроводов большого диаметра. Согласно базовой технологии ремонтная муфта из нержавеющей стали выполняется с применением ручной дуговой сварки, которая характеризуется рядом недостатков, критически сказывающихся на производительности и показателях производства. Проведенный поиск по источникам научно-технической информации позволил обозначить способы сварки, которые могут быть рассмотрены для построения проектной технологии изготовления ремонтной муфты. Такими способами являются ручная дуговая сварка, сварка под флюсом, сварка самозащитными проволоками и сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения. Альтернативные способы сварки были рассмотрены с анализом их преимуществ и недостатков, была выставлена экспертная оценка по технологическим критериям, на основании чего предложено применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, которую для повышения производительности предложено роботизировать с применением современных технических решений.

Составлена планировка роботизированного технологического комплекса для роботизированной сварки рассматриваемого изделия.

Составлена карта технологического процесса сборки и сварки изделия, предусматривающая последовательность выполнения технологических операций, описание технологического оборудования, назначение параметров режима и технических условия на выполнение операций.

Полученные в настоящей выпускной квалификационной работе решения предлагаются к внедрению на предприятиях, выпускающих сварные конструкции из нержавеющей сталей.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние сварки ремонтных муфт трубопроводов. . . . .	7
1.1 Описание конструкции и условия работы изделия. . . . .	7
1.2 Сведения о материале изделия. . . . .	9
1.3 Базовая технология сборки и сварки изделия. . . . .	11
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки конструкций из нержавеющей сталей. . . . .	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	19
2 Проектная технология сварки ремонтной муфты. . . . .	20
2.1 Обоснование выбора способа сварки. . . . .	20
2.2 Оборудование для сварки. . . . .	27
2.3 Проектная технология роботизированной сборки и сварки. . . . .	32
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. . . . .	35
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. . . . .	35
3.2 Идентификация профессиональных рисков. . . . .	36
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков. . . . .	38
3.4 Обеспечение пожарной безопасности. . . . .	39
3.5 Экологическая безопасность. . . . .	41
4 Экономическое обоснование проектных решений. . . . .	42
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования. . . . .	42
4.2 Фонд времени оборудования. . . . .	44
4.3 Штучное время и годовая программа. . . . .	45
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии. . . . .	47
4.5 Расчёт капитальных затрат. . . . .	52
4.6 Расчёт экономических показателей. . . . .	54

Заключение .....	56
Список используемой литературы и используемых источников.....	58

.

## Введение

При ремонте трубопроводов широкое применение нашли конструкции в виде муфт, конструкция которых позволяет оперативно соединять трубы из различных материалов (чугун, сталь, пластик, асбоцемент). В настоящее время актуальность вопроса изготовления и правильного применения временных ремонтных конструкций на трубопроводах различного назначения повышается по причине массового старения трубопроводов и невозможности проведения замены труб на новые.

Применение временных ремонтных конструкций на трубопроводе позволяет обеспечить его функционирование при обнаружении недопустимых дефектов, при этом не требуется остановка перекачки продукта. В настоящее время приблизительно 40 % всех трубопроводов в Российской Федерации уже выработали свой нормативный срок эксплуатации и подлежат замене. Замена труб в таком значительном объеме является экономически неосуществимой задачей, поэтому логичным решением является продление срока службы трубопровода с оперативным выявлением и устранением повреждений, что позволяет увеличить срок эксплуатации трубопровода до 100 лет [12].

Для труб диаметром от 50 до 1200 мм нашли применения временные ремонтные конструкции в виде муфт с уплотнительными резиновыми манжетами. Крепление муфты на трубе выполняется посредством оцинкованных шпилек, а сам корпус конструкции может быть выполнен как из низкоуглеродистой стали, чугуна, так и нержавеющей стали AISI 304. Соединение элементов муфты выполняется при помощи сварных швов, которые обычно предусматривают применение ручной дуговой сварки.

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварки ремонтных муфт для трубопроводов большого диаметра, элементы которых выполнены из нержавеющей стали.

Применение ручной дуговой сварки обусловлено низким ценовым порогом входа при построении технологии. Однако дальнейшее расширение производства заставляет рассматривать более производительные способы сварки для замены ручной дуговой сварки, применение которой в базовой технологии снижает эффективность производства.

«Отечественными и зарубежными аналитиками отмечается сохраняющаяся тенденция к замене ручной дуговой сварки на механизированные и автоматические способы сварки» [20], что объясняется экономическими и технологическими недостатками ручной дуговой сварки. «Первым недостатком является низкая производительность, повышение которой за счёт оптимизации параметров режима достигнуто быть не может. Вторым недостатком является сложность условия труда сварщика, которому приходится работать в условиях вредного испарения» [20] от сварки и излучения дуги. Третьим недостатком является значительное количество дефектов, при этом уровень дефектности сильно зависит от квалификации сварщика и продолжает оставаться высоким даже в случае привлечения сварщиков высокой квалификации. Четвертым недостатком является значительная потеря электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки [3], [4], [27].

На основании вышеизложенного можно сделать заключение об актуальности выбранного направления исследования и цели выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных операций при изготовлении ремонтно-соединительных муфт из нержавеющей сталей.

Выработка решений для достижения поставленной цели должно быть основано на применении достижений отечественных исследователей-сварщиков и производителей дружественных стран, что позволяет повысить промышленную безопасность государства и обеспечить независимость отечественного производителя от поставок высокотехнологичного оборудования и компонентов [13], [17], [18].

# 1 Современное состояние сварки ремонтных муфт трубопроводов

## 1.1 Описание конструкции и условия работы изделия

На рисунке 1 представлена ремонтная муфта, которая нашла применение при оперативном ремонте трубопроводов различного назначения и позволяет соединять трубы из различных материалов путём установки и закрепления на них фланцев с резиновым уплотнением. Применение такой муфты возможно при ремонте канализационных и водопроводных труб. Применение муфт на технологических трубопроводах различного назначения регламентируется соответствующей нормативной документацией. Муфта может эксплуатироваться при температуре передаваемой по трубопроводу среды от 0 до 110 °С. Рабочее давление среды не должно превышать 1,6 МПа для рассматриваемой в настоящей выпускной работе муфты ПФРК-1000-4, которая предназначена для соединения труб с внешним диаметром до 1069 мм. Муфта имеет с одного конца присоединительный фланец, размеры которого соответствуют ГОСТ 12820-80.

Состав ремонтной муфты и принцип работы представлен на рисунке 2. В состав муфты входит корпус 1, колпак 2, резиновая манжета 3, шпильки 4, шайбы 5 и гайки 6.



Рисунок 1 – Ремонтная муфта

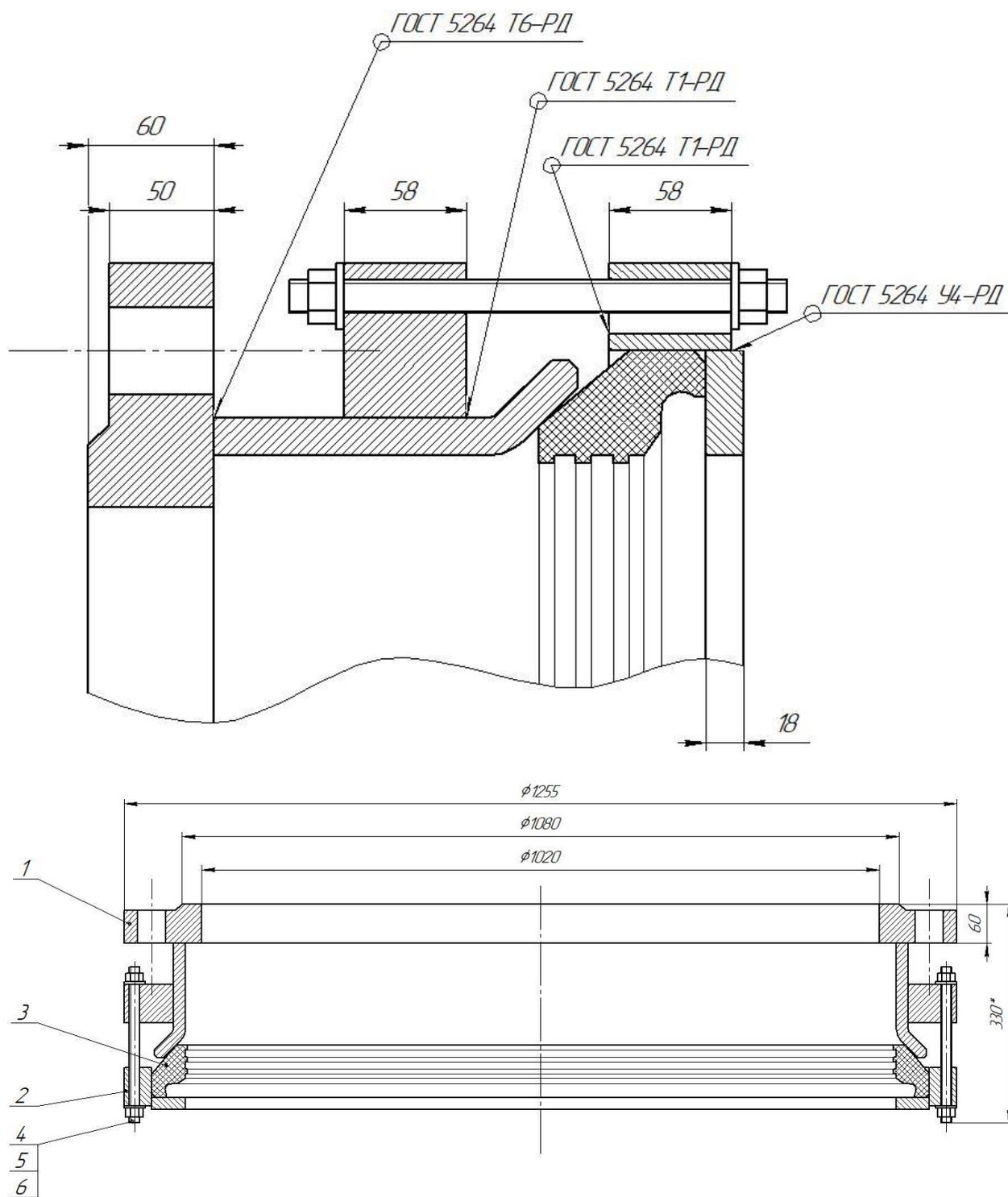


Рисунок 2 – Принцип работы и устройство ремонтной муфты

На фланце корпуса 1 выполнено 28 отверстий диаметром 42 мм для присоединения ответной трубы, которая может иметь на конце установленный такой же фланец, что обеспечивает оперативное соединение элементов ремонтируемого трубопровода. К фланцу корпуса при помощи ручной дуговой сварки приварен стакан, на котором с применением ручной дуговой

сварки приварено 14 серёг для фиксации в них шпилек диаметром М16. Вторым элементом ремонтного фланца является колпак 2, который представляет их себя сваренные при помощи ручной дуговой сварки кольцо и стакан, на котором с применением ручной дуговой сварки расположены 14 серег для фиксации шпилек М16. Манжета 3 представляет собой отлитое из резины EPDM (ГОСТ ISO 4097-2013) кольцо с уплотнительными каналами. Крепежные детали (шпильки в количестве 14 штук, шайбы в количестве 28 штук и гайки в количестве 28 штук) выполнены из нержавеющей стали. При закручивании гаек на шпильке происходит подтягивание колпака к корпусу, в результате чего уплотнительное кольцо сильнее охватывает помещенное внутрь него трубу. В результате происходит фиксация фланца на трубе.

При сварке элементов муфты применяется сварка покрытым электродом, сварные швы соответствуют ГОСТ 5264. При закручивании гаек на шпильках муфты допускается прилагать крутящий момент не более 122 Н·м. При установке муфты на трубу допускается несоосность трубы и муфты не более 4 градусов.

## 1.2 Сведения о материале изделия

Для изготовления деталей ремонтной муфты применяется сталь AISI 304, состав которой соответствует стали 08X18H10T, состав которой представлен в таблице 1. Сталь нашла применение при изготовлении деталей аппаратов, работающих в химической и нефтехимической промышленности. Конструкции из стали 08X18H10T могут эксплуатироваться при температуре от -196 до +600 °С. Сталь обладает хорошими противокоррозионными свойствами и жаропрочностью [25], [26].

Таблица 1 – «Содержание химических элементов в стали AISI 304 (08X18H10T)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
---	----	----	----	---	---	----	----	----

<0,08	<0,8	<2	9-11	<0,02	<0,035	17-19	<0.3	0,5 – 0,7» [25]
-------	------	----	------	-------	--------	-------	------	--------------------

Высокое содержание в стали хрома позволяет получить коррозионную стойкость, однако состав стали обуславливает трудности при её сварке. К таким трудностям относятся горячие трещины, возникновение которых может сопровождать формирование сварного соединения, и возникновение которых обусловлено аустенитной структурой металла сварного шва. Также в числе трудностей сварки стали 08X18H10T следует указать охрупчивание металла и межкритсаллитную коррозию в процессе длительной эксплуатации [6]. Также в сварных конструкциях из стали 08X18H10T под действием термического цикла и значительной величины коэффициента линейного расширения наблюдается повышенный по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей уровень остаточных напряжений и деформаций. При построении технологии сварки наплавки стали 08X18H10T особое внимание следует уделить соблюдению параметров режима и техники процесса, нарушение которых может повлечь за собой усиление процессов межкритсаллитной коррозии, выгорание легирующих элементов и укрупнение зерна в зоне термического влияния.

Уменьшение межкритсаллитной коррозии происходит при повышении скорости сварки и принудительном охлаждении при сварке. Также следует принимать во внимание, что сварные швы с гладкой поверхностью проявляют большую стойкость против межкритсаллитной коррозии. Также следует принимать такую последовательность сварки, при которой ответственные швы выполняются в последнюю очередь.

«При изготовлении сварных конструкций из аустенитных сталей необходимо считаться с опасностью выгорания легирующих элементов в ходе сварки, что может стать причиной снижения коррозионной стойкости металла сварного шва и зарождения в нем дефектов» [20]. По этой причине сварку следует выполнять короткой дугой, длина которой приблизительно соответствует диаметру сварочного электрода, в состав покрытия которого

вводят легирующие элементы в количестве, задаваемом с учётом выгорания при сварке.

### **1.3 Базовая технология сборки и сварки изделия**

Заготовки со склада поступают на участок сборки и сварки с применением цехового транспорта. В месте выполнения «сварного шва детали следует зачистить до металлического блеска, ширина зачистки должна превышать ширину шва на 20...25 мм» [25]. Также перед тем, как выполнять заполнение разделки и основной шов на деталях, необходимо проводить зачистку поверхности прихваток и поверхности деталей от шлака и брызг. Также при зачистке прихваток следует получать плавный переход от наплавленного металла к основному металлу.

Перед самой прихваткой и сваркой проводят обезжиривание кромок с применением уайт-спирита или жидкости «Нефрос-С». Обезжиривание проводят «на ширину 20...25 мм во все стороны от шва. После обезжиривания с применением продувки сжатым воздухом просушивают кромки. После протирки растворителем и просушки детали могут вылеживаться не более 0,5 часа» [25]. В противном случае следует провести повторное обезжиривание кромок.

Сборку деталей выполняют на сборочной плите с применением универсального сборочного приспособления. Размещение заготовок должно выполняться с точностью не менее 0,5 мм. Сборку выполняют с применением прихваток. При сборке и сварке корпуса ремонтной муфты сначала собирают и прихватывают фланец и стакан. «Длина прихватки составляет 60...70 мм, расстояние между прихватками составляет 300...350 мм. Высота прихватки составляет 3...4 мм. Далее собирают и прихватывают детали колпака – кольцо и стакан. Длина прихватки составляет 60...70 мм, расстояние между прихватками составляет 300...350 мм» [25]. Высота прихватки составляет 3...4 мм. При выполнении прихваток применяются электроды ЭА-400/10Т диаметром 3 мм. Прихватку ведут на токе 70...90 А. применение электродов

ЭА-400/10Т позволяет получить металл сварного шва составом согласно таблице 2.

Таблица 2 – Типовой состав металла сварного шва при сварке электродами ЭА-400/10Т

С	Mn	Si	Mo	Ni	Cr	V	S	P
0,07	2,2	0,5	2,8	10,5	18,1	0,58	0,020	0,025

Применение электродов ЭА-400/10Т при сварке ответственных конструкций позволяет получать сварной шов с высокой стойкостью против межкристаллитной коррозии, при этом проводить термическую обработку после сварки не требуется. Перед применением электроды следует прокалить при температуре 120...150 °С в течение 1 часа, для чего применяется представленная на рисунке 3-а печь ПСПЭ 90-400. После прокалики электроды следует поместить в представленную на рисунке 3-б резервную печь ПСПЭ 10-40. Количество прокаливаемых электродов должно соответствовать количеству расходуемых за смену электродов. Из резервной печи электроды следует вынимать по-одному непосредственно перед использованием. Все прокаленные электроды должны быть израсходованы в течение смены, оставшиеся электроды подлежат повторной прокалике перед использованием. Всего допускается не более трех прокалок электродов, после чего неизрасходованные электроды подлежат утилизации, так как признаются негодными для выполнения сварочных работ.

При прихватке и сварке следует поддерживать минимальную длину дуги, составляющую приблизительно один диаметр электрода. До полного расходования электрода перерывы в сварке не допускаются. Запрещено выведение кратеров на основной металл.



Рисунок 3 – Печь ПСПЭ 90-400 (а), печь ПСПЭ 10-400 (б)

Питание дуги при прихватке и сварке обеспечивается представленным на рисунке 4 сварочным выпрямителем Idealarc DC-655. Высокая мощность данного источника позволяет использовать его при построении производства с использованием многопостовой сварки. Электронное управление работой источника позволяет реализовать алгоритмы легкого зажигания дуги. Данный источник может применяться для сварки ответственных конструкций «ручной дуговой сваркой, аргодуговой сваркой неплавящимся электродом, механизированной сваркой в защитных газах и сваркой под флюсом» [25].



Рисунок 4 – Источник питания Idealarc DC-655

Сваренные прихватки должны быть очищены от шлака и брызг, следует обеспечивать плавный переход от металла сварного шва к основному металлу. Контролировать качество прихваток следует визуально. Требования к визуальному контролю прихваток такие же, как и при основной сварке. Не допускаются непровары, трещины и поверхностные поры более 2 мм. дефектную прихватку следует полностью зачистить и переварить.

После зачистки прихваток и проверки качества их выполнения проводят основную сварку кольцевых швов. После чего проводят их визуальный контроль.

Далее выполняют установку и прихватку серёг. Длина прихватки составляет 8...15 мм. Каждая серьга должна быть прихвачена двумя прихватками, расположенными по одной с каждой стороны. Точность сборки составляет 0,5 мм. Сваренные прихватки должны быть очищены от шлака и брызг, следует обеспечивать плавный переход от металла сварного шва к основному металлу. Контролировать качество прихваток следует визуально. Требования к визуальному контролю прихваток такие же, как и при основной сварке. Не допускаются непровары, трещины и поверхностные поры более 2 мм. дефектную прихватку следует полностью зачистить и переварить.

После проверки геометрии выполняют приварку серег. Приваривать серьги следует вразброс, что позволяет избежать перегрева основного металла, температура которого не должна подниматься выше 100 °С.

При сварке дугой следует зажигать на наплавленном металле или на разделке шва, запрещено зажигать дугу на основном металле. При гашении дуги запрещено выводить кратер на основной металл. Перекрытие при выполнении кольцевого шва должно быть в диапазоне 15...20 мм. При обрыве сварочной дуги повторное зажигание выполняют следующим образом. От шлака очищают участок ранее выполненного сварного шва на расстоянии 15...20 мм от обрыва дуги, зажигают дугу на наплавленном металле, перемещают дугу к началу шва, тщательно заправляя кратер короткими замыканиями сварочного электрода.

После выполнения сварки проводят тщательную очистку поверхности от шлака и брызг металла. Далее выполняют визуальный контроль на предмет наличия недопустимых дефектов. Недопустимыми дефектами являются выходящие на поверхность трещины, грубая чашуйчатость сварного шва, подрезы и наплыв более 0,5 мм. Визуальный и измерительный контроль проводится с применением комплекта, который включает в себя футляр для

хранения, инструкцию для проведения контроля, универсальный шаблон сварщика, наборы радиусных шаблонов и щупов, электрический фонарик, рулетку, металлический угольник и линейку длиной 300 мм, штангенциркуль, набор луп с увеличением 3,5 (с подсветкой), 4, 7 и 10 (измерительная), маркер по металлу. Для неразрушающего контроля применяется дефектоскоп UCD-50. При обнаружении недопустимого дефекта дефектное место вырубает и переплавляют

#### **1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки конструкций из нержавеющей сталей**

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при изготовлении ремонтных муфт из нержавеющей сталей. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для достижения поставленной цели предстоит решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности сварочных процессов. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

Целью первой работы [24] являлось расширение технологических возможностей механизированной сварки конструкций из нержавеющей стали за счёт применения импульсного управления и изменения состава порошковой

присадки. В работе показана высокая эффективность применения сварки порошковой проволокой при изготовлении металлических конструкций из нержавеющей сталей. При этом расширение технологических возможностей достигается при защите места сварки инертным газом и применении импульсного управления горением сварочной дуги. «Применение импульсного управления дугой позволяет повысить производительность сварки, обеспечить стабильный перенос электродного металла и пространственную стабильность сварочной дуги, улучшить формирование металла» [24] сварного шва и его структуру.

Результаты первой работы будут использованы для обоснования актуальности выбранного направления исследования, обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии сварки.

Целью второй работы [11] являлось повышение эффективности ремонтной сварки металлических конструкций из нержавеющей сталей 03X20H16AG6 и 12X18H10T, работа которых проходит в условиях знакопеременного нагружения. В работе проведено исследование особенностей усталостного разрушения конструкций из нержавеющей сталей на примере стали 03X20H16AG6 и стали 12X18H10T. Установлено, что прочностные характеристики стали не влияют на коэффициент сжатия трещин. Доказано влияние на образование и развития трещин коэффициента асимметрии цикла нагружения. Построены диаграммы усталостного разрушения конструкций из рассматриваемых сталей и составлена математическая модель усталостного разрушения конструкций. Предложены параметры для количественной оценки стойкости против усталостных трещин в металлических конструкциях.

«Результаты второй работы будут использованы для обоснования актуальности выбранного направления исследования и построения проектной технологии сварки» [11].

Целью третьей работы [16] являлось повышение эффективности сварки и наплавки при изготовлении и ремонте деталей машин из нержавеющей

сталей за счёт применения импульсной подачи проволоки при построении систем механизированной и автоматической сварки. При сварке и «наплавке нержавеющей сталей с применением импульсной подачи сварочной проволоки наблюдается улучшение показателей соединения и структуры наплавленного металла по сравнению с традиционной сваркой и наплавкой без импульсной подачи проволоки. Однако получаемые улучшения оказываются меньшими, чем при применении импульсной подачи для сварки и наплавки низкоуглеродистых сталей. Следует сделать вывод, что химический состав присадочного металла оказывает влияние на характер переноса электродного металла при сварке и наплавке с импульсной подачей проволоки» [16].

«Результаты третьей работы будут использованы для обоснования актуальности выбранного направления исследования, обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии сварки» [16].

Целью четвертой работы [9] являлось повышение эффективности сварки и увеличение ресурса работы соединений при изготовлении деталей химической промышленности из стали 12X18H10T за счёт применения вибрационной обработки сварных соединений. Для построения оборудования химического и нефтехимического производства широко применяется аустенитная сталь 12X18H10T, что объясняет выбор стали для изготовления исследовательских образцов. Показана актуальность расширения технологических возможностей сварочных технологий при изготовлении деталей машин из этой стали. Повышение стойкости сварных швов против межкристаллитной коррозии при изготовлении деталей машин из стали 12X18H10T может быть достигнуто за счёт применения вибрационной обработки в процессе сварки. При этом наблюдается измельчение структуры зерна и увеличение границ зерен дендритной структуры, при этом происходит измельчение карбидной составляющей и уменьшение содержания карбидов на единицу длины границы зерна, что позволяет повысить стойкость против межкристаллитной коррозии. Сварные образцы, выполненные с применением наложения вибрационной обработки на сварочную ванну, при механических

испытаниях на прочность разрушались по основному металлу, что позволяет сделать вывод о повышении прочностных характеристик металла сварного шва, которые становятся не хуже характеристик основного металла.

«Результаты четвертой работы будут использованы для обоснования актуальности выбранного направления исследования, обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии сварки» [9].

Целью работы [23] «являлось повышение эффективности сварки из нержавеющей сталей соединения типа «труба-трубная доска», что обеспечивалось оптимизацией параметров импульсного управления переносом электродного металла» [23]. Моделирование тепловых процессов при сварке соединения «труба-трубная доска» с применением имеющихся математических моделей характеризуется значительной погрешностью расчётов, что объясняется идеализированным представлением об особенностях распространения тепла при сварке таких конструкций. В связи с этим имеющиеся математические модели не могут быть применены для решения практических инженерных задач и требуют доработки. Оптимизация параметров режима сварки требует проведения трудоемких экспериментов, которые характеризуются значительным потреблением материальных и трудовых ресурсов. Для повышения эффективности следует выполнять компьютерное и имитационное моделирование, которые требуют разработки новых математических моделей, адекватно описывающих процесс распространения тепла и переноса электродного металла при импульсной сварке.

На основании проведенного анализа источников научно-технической информации и знаний, полученных при обучении на кафедре сварки, для построения проектной технологии сварки деталей ремонтной муфты из нержавеющей сталей для анализа могут быть рассмотрены следующие способы: ручная дуговая сварка штучными электродами, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, сварка в защитных газах проволокой

сплошного сечения, сварка самозащитными порошковыми проволоками, сварка под флюсом.

В исполнительском разделе предлагается рассмотреть эти способы и обосновать выбор для построения проектной технологии сварки.

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

Выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, повышения эффективности сварочных операций при изготовлении ремонтных муфт трубопроводов из нержавеющей сталей. «Базовая технология изготовления предусматривает применение ручной дуговой сварки и характеризуется рядом недостатков. Первым недостатком является низкая производительность, повышение которой за счёт оптимизации параметров режима достигнуто быть не может. Вторым недостатком является сложность условия труда сварщика, которому приходится работать в условиях вредного испарения» [2] от сварки и излучения дуги. Третьим недостатком является значительное количество дефектов, при этом уровень дефектности сильно зависит от квалификации сварщика и продолжает оставаться высоким даже в случае привлечения сварщиков высокой квалификации. Четвертым недостатком является значительная потеря электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки. На основании анализа источников научно-технической информации и знаний, полученных при обучении на кафедре сварки, для построения проектной технологии сварки деталей ремонтной муфты из нержавеющей сталей было отобрано ряд альтернативных способов сварки. Таким образом, могут быть сформулированы задачи для выполнения выпускной квалификационной работы. «Первой задачей является обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии, которое следует сделать по результатам экспертной оценки рассматриваемых способов с анализом преимуществ и недостатков каждого способа. Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки с учетом современных достижений в области управления сварочными процессами» [2].

Третьей задачей является построение проектного технологического процесса, в ходе решения которой предстоит сформулировать перечень операций, требования к выполнению операций, назначить параметры режима и оборудование.

## **2 Проектная технология сварки ремонтной муфты**

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

Построение проектного технологического процесса сборки и сварки ответственных изделий предусматривает обоснование выбора способа сварки, применение которого позволит в последствии продолжить модернизация производства за счёт расширения технологических возможностей [2], [7]. Сварка деталей из аустенитной стали должно учитывать свариваемость и эксплуатационные свойства деталей, при этом необходимо получение требуемого уровня технологической прочности. Выбираемый для построения проектной технологии способ сварки должен обеспечивать снижение погонной энергии и перегрева основного металла, что позволит уменьшить нежелательные структурные изменения в металле сварного шва под действием термического цикла. Наибольшей эффективностью в этом направлении обладают источники нагрева с высокой концентрацией тепловой энергии. На основании проведенного анализа источников научно-технической информации и знаний, полученных при обучении на кафедре сварки, для построения проектной технологии сварки деталей ремонтной муфты из нержавеющей сталей для анализа могут быть рассмотрены следующие способы: «ручная дуговая сварка штучными электродами, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка самозащитными порошковыми проволоками, сварка под флюсом» [25].

На рисунке 5 представлена схема ручной дуговой сварки, применение которой характеризуется высокой универсальностью. При построении

технологии с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами не требуется вложение значительных средств в приобретение сварочного оборудования, так как оно, скорее всего, уже имеется и используется на предприятии. Кроме того, нет необходимости проводить переобучение персонала, так сварщики необходимой квалификации уже имеются на предприятии. Таким образом, технологии ручной дуговой сварки снижают для отечественного производителя порог входа на рынок. Однако из-за недостатков ручной дуговой сварки при дальнейшем развитии сварочного производства приходится искать замену этого способа.



Рисунок 5 – Схема ручной дуговой сварки

«Первым недостатком является низкая производительность, повышение которой за счёт оптимизации параметров режима достигнуто быть не может. Вторым недостатком является сложность условия труда сварщика» [3], которому приходится работать в условиях вредного испарения от сварки и излучения дуги. Третьим недостатком является значительное количество дефектов, при этом уровень дефектности сильно зависит от квалификации сварщика и продолжает оставаться высоким даже в случае привлечения сварщиков высокой квалификации. Четвертым недостатком является

значительная потеря электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки [3], [4], [27]. «Повышение эффективности ручной дуговой сварки возможно за счет применения специальной техники и состава электродного покрытия» [8], [19]. [21].

Значительная толщина свариваемого металла в рассматриваемой в настоящей выпускной квалификационной работе конструкции позволяет судить о высокой эффективности применения автоматической сварки под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 6. При этом следует ожидать повышения производительности и качества выполнения сварочных работ, которые оказываются самыми высокими по сравнению с рассматриваемыми в настоящей работе альтернативными способами сварки. Также «при автоматической сварке под флюсом устраняется проблема разбрызгивания электродного металла и существенно улучшаются условия труда сварщика» [25]. Однако внедрение этого способа применительно к рассматриваемой конструкции встречает критические затруднения, связанные с особенностью конструкции: два длинномерных шва имеют кольцевую траекторию, а ещё 28 сварных швов имеют малую протяженность и криволинейны. «Кроме того, автоматическая сварка под флюсом приводит к перегреву основного металла, который при сварке аустенитных сталей может стать причиной нежелательных структурных изменений» [25]. В связи с этим применение автоматической сварки под флюсом для изготовления рассматриваемой детали затруднительно.

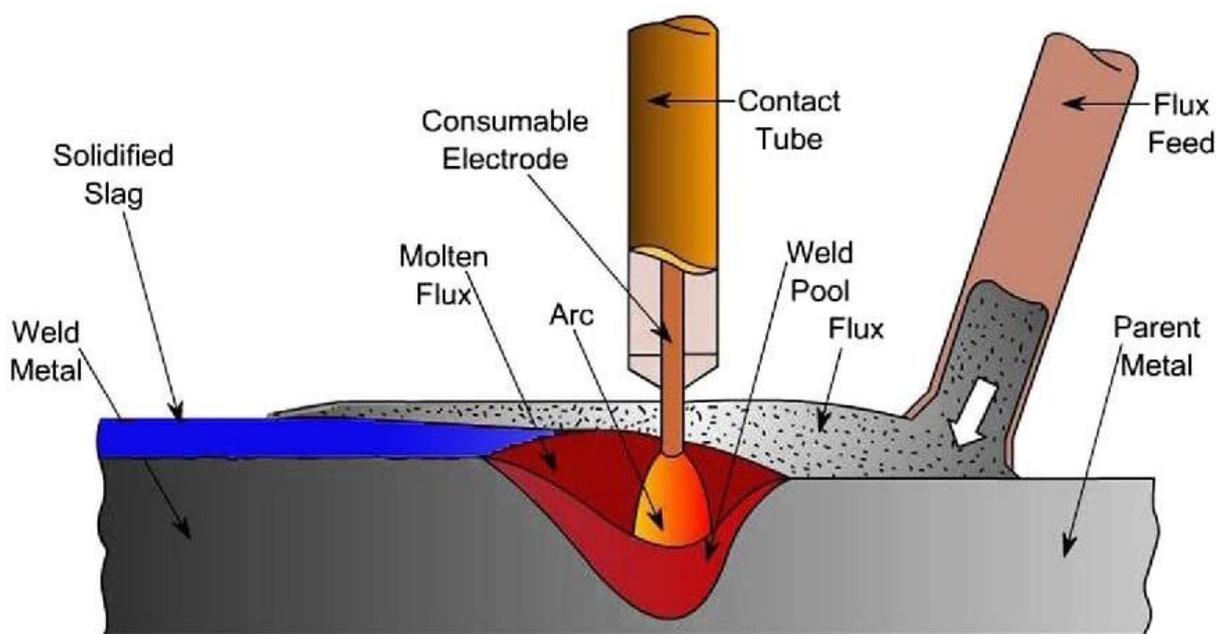


Рисунок 6 – Схема выполнения автоматической сварки под флюсом

«Высокое качество сварного шва при изготовлении конструкций из аустенитных сталей обеспечивается при применении аргонодуговой сварки неплавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 7. Высокие показатели этого способа» [25] по качеству сварного соединения становятся причиной применения этого способа сварки при выполнении сварных швов комбинированным методом, когда корень шва выполняется сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки выполняется более производительным способом сварки, например, ручной дуговой сваркой покрытым электродом. «Помимо повышения качества сварного соединения аргонодуговая сварка неплавящимся электродом по сравнению с ручной дуговой сваркой характеризуется существенным улучшением условия труда сварщика и внешнего вида изделия» [25]. Также за счёт изменения химического состава присадочного металла существует возможность изменения в широких пределах свойств и состава металла сварного шва. Для сварки кольцевых швов высокую эффективность доказала автоматическая аргонодуговая сварка неплавящимся электродом [24], [25].

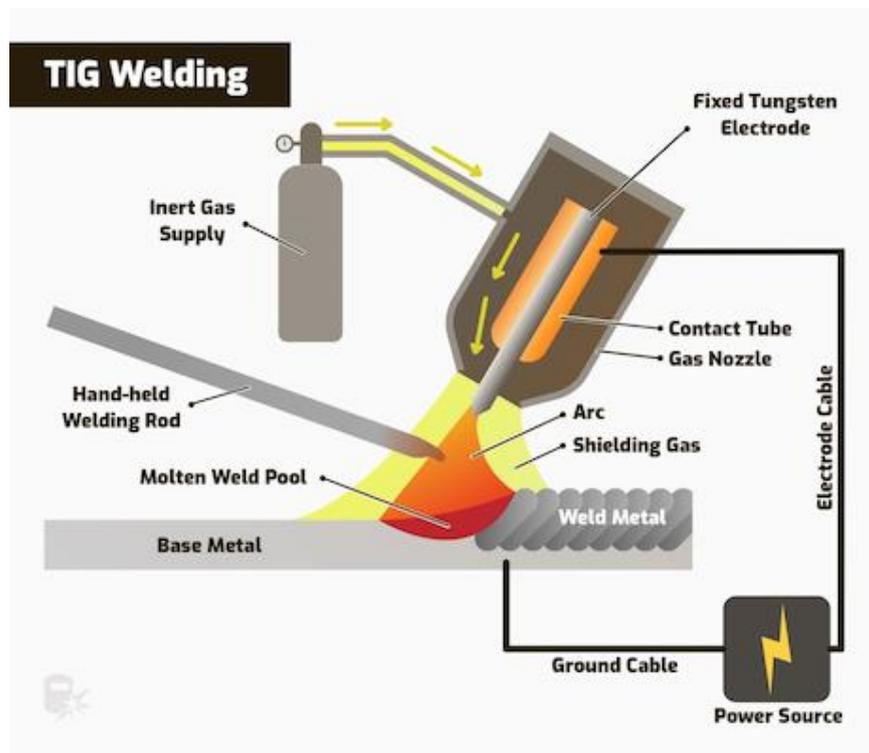


Рисунок 7 – Схема выполнения аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

«Повышение производительности сварки аустенитных сталей по сравнению со сваркой неплавящимся электродом достигается при сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 8. Критическими недостатками механизированной и автоматической сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения является интенсивное разбрызгивание электродного металла и склонность металла сварного шва к образованию трещин» [25]. Интенсивные разработки в области повышения эффективности сварки за счёт импульсного управления переносом электродного металла и воздействия на сварочную ванну позволили производителю сварочного оборудования предложить на мировой рынок источники питания с минимальным разбрызгиванием и улучшенными условиями формирования сварного соединения. Импульсный характер переноса электродного металла и горения сварочной дуги приводит к интенсификации перемешивания металла сварочной ванны и более полного удаления из него растворенных газов, что уменьшает пористость металла сварного шва. Также за счёт импульсного характера действия на поверхность сварочной ванны улучшается растекаемость расплавленного металла, формируется гладкая поверхность сварного шва и снижается опасность получения несплавлений и непроваров. Устранение разбрызгивания и испарения электродного металла повышает эффективное КПД сварки [10], [20].

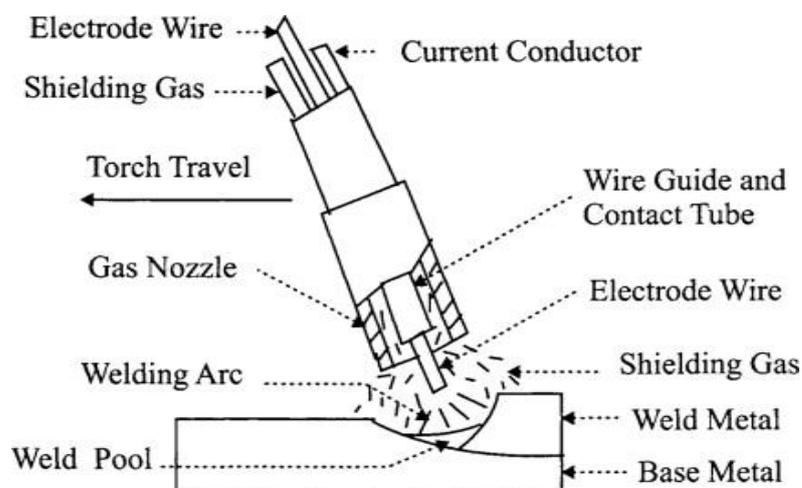


Рисунок 8 – Схема сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

«Применение порошковой проволоки сварке, схема процесса сварки с которой представлена на рисунке 9, позволяет сочетать положительные свойства ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах. Одним из затруднений, ограничивающих применение сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения при сварке» [25] легированных сталей является сложность изготовления проволоки сплошного сечения требуемого состава. При изготовлении порошковой проволоки состав может изменяться в широких диапазонах без изменения технологии изготовления проволоки.

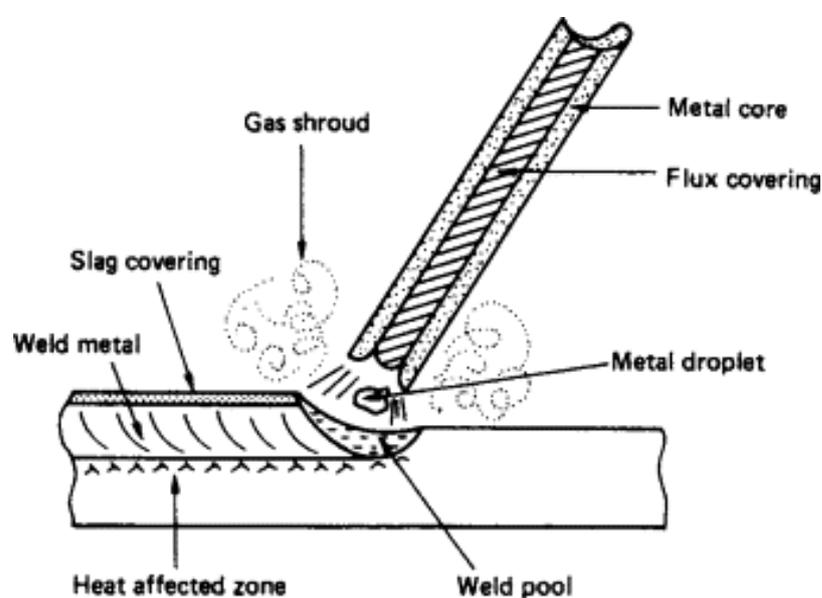


Рисунок 9 – Схема сварки порошковой самозащитной проволокой

Применение порошковых проволок при ремонтной сварке ограничивается недостатками. В первую очередь, следует указать на заломы мягкой порошковой проволоки, которые усложняют её подачу. Плавление порошковой проволоки происходит неравномерно, что приводит к осыпанию части шихты в сварочную ванну и повышенной пористости шва. При сварке порошковой проволокой образуются шлаковые карманы по причине высокой текучести шлака. Также следует учитывать излишнюю мягкость порошковой проволоки, которая приводит к заломам и застреванию проволоки в подающих механизмах, что затрудняет подачу проволоки и организацию автоматической и роботизированной сварки.

В таблице 3 представлены «критерии экспертной оценки рассматриваемых способов сварки». Первым критерием является стоимость сварочного оборудования. Вторым критерием является производительность. Третьим критерием является качество сварного соединения. Четвертым критерием является условия труда» [25]. Пятым критерием являются эксплуатационные характеристики сварного изделия. Шестым критерием является универсальность способа.

Таблица 3 – Экспертная оценка рассматриваемых способов сварки

Наименование способа сварки	Номер критерия оценки					
	1	2	3	4	5	6
«ручная дуговая сварка покрытыми электродами	5	2	1	1	1	2
автоматическая сварка под флюсом	2	5	4	5	4	1
аргодуговая сварка неплавящимся электродом	1	1	5	4	5	5
сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах	3	3	3	3	3	5
сварка порошковой проволокой» [25]	4	4	2	2	2	3

Минимальный суммарный балл, равный 12, получила ручная дуговая сварка, что позволяет судить о необходимости замены этого способа на более производительный при построении проектной технологии. Сварка самозащитной порошковой проволокой тоже получила невысокий суммарный балл, равный 19, что позволяет сделать вывод о неперспективности применения сварки самозащитной порошковой проволоки при построении проектной технологии. Наибольший балл, равный 21, получили автоматическая сварка под флюсом, аргодуговая сварка неплавящимся электродом и сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения. По причине трудности выполнения криволинейных швов и швов малой протяженности автоматическую сварку под флюсом следует при построении проектной технологии не применять. По причине малой производительности сварку неплавящимся электродом также не будем рассматривать для построения проектной технологии. Таким образом, применим сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, эффективность которой может быть повышена.

## 2.2 Оборудование для сварки

Повышение производительности и качества сварки предлагается обеспечить за счет роботизации сварки, при которой позиционирование сварочной горелки будет выполняться представленным на рисунке 10 роботом производства концерна FANUC Robotics серии Arc Mate. Данный робот предназначен для выполнения MIG/MAG и TIG сварки конструкций из низкоуглеродистых и легированных сталей, а также конструкций из легких сплавов. Конструкция робота предусматривает шесть степеней подвижности, перемещение по которым позволяет позиционировать рабочий инструмент с точностью до 0.08 мм, которая является удовлетворительной для большинства случаев сварки, при этом масса перемещаемого рабочего инструмента составляет 20 кг, что позволяет применять робот не только для дуговой сварки, но и для плазменных процессов. Механизм подачи сварочной проволоки помещается на основании руки робота, что позволяет увеличить массу катушки с проволокой.



Рисунок 10 – Промышленный сварочный робот AM-120iB

Максимальный вылет робота составляет 1667 мм, что позволяет обеспечить рабочую зону для выполнения сварочных операций рассматриваемого изделия.

Для перемещения свариваемого изделия с транспортера-накопителя и её укладки на манипулятор, а также для перемещения изделия после сварки на транспортер-накопитель предлагается применить роботизированную загрузку с использованием представленного на рисунке 11 робота M-710 iB/45-iAW производства концерна FANUC Robotics.

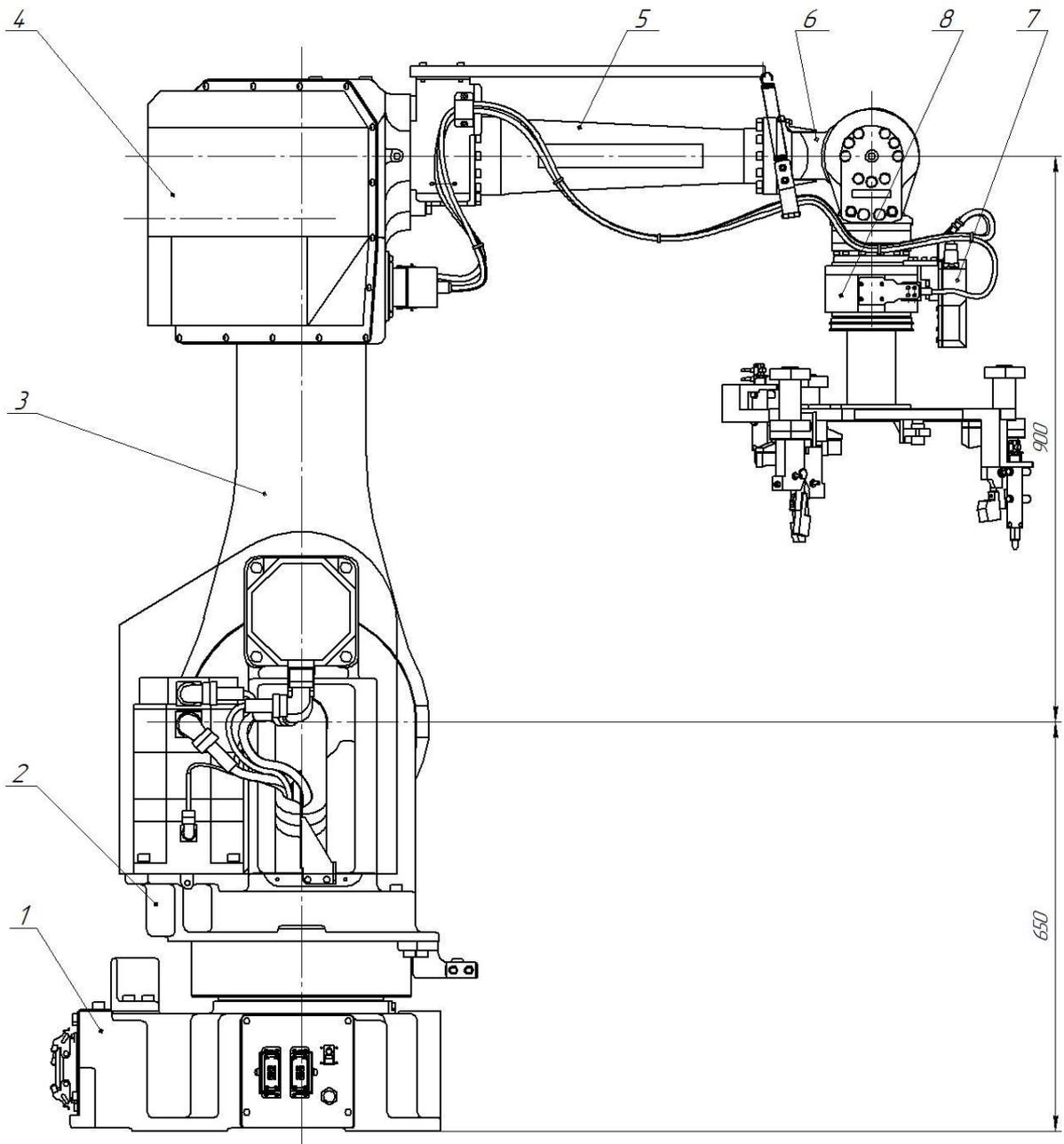
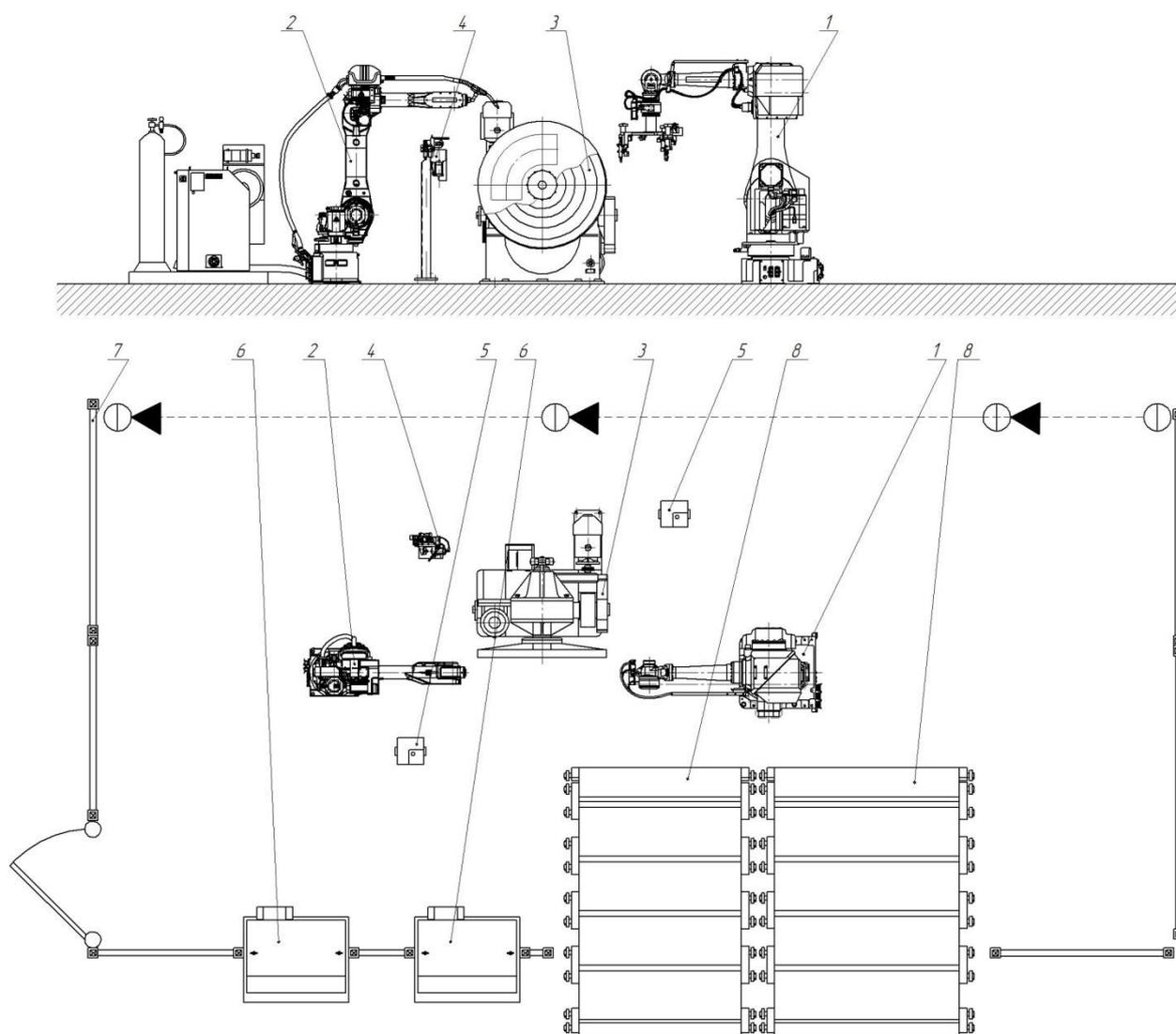


Рисунок 11 – Промышленный робот M-710 iB/45-iAW

Промышленный робот М-710 iB/45-iAW имеет модульную конструкцию и включает в себя базисное основание 1, карусель 2, коромысло 3, основание руки 4, руку 5, кисть руки 6, на которой закреплена камера 7, сенсор усилия 8 и схват деталей 9. Точность позиционирования робота составляет 0,15 мм, что позволяет проводить манипуляции по установке изделия в ложементы позиционера и выемку сваренного изделия с размещением его на транспортере-накопителе.

Комплекс для роботизированной сварки представлен на рисунке 12.



«1 – робот М-710iВ с оснасткой для схвата деталей; 2 – робот АМ-120iВ с оснасткой для дуговой сварки; 3 – узел разворота оснастки; 4 – стойка обслуживания сварочной горелки; 5 – стойка конечного выключателя; 6 – шкаф управления роботом; 7 – ограда; 8 – транспортер-накопитель» [16]

Рисунок 12 – Комплекс для роботизированной сварки

Применение вспомогательного робота, оснащенного схватом изделия, позволяет исключить взаимодействие оператора со сварочным роботом в ходе работы роботизированного комплекса в штатном режиме. Ограда комплекса имеет калитку с концевым выключателем, наличие которого не позволяет продолжить работу комплекса в случае проникновения за ограждаемую территорию.

В качестве источника питания для механизированной и роботизированной сварки предлагается применить оборудование, представленное на российском рынке китайским брендом MEGMEET. Поставка оборудования для ручной, механизированной и роботизированной сварки китайских производителей осуществляется зарегистрированным в Российской Федерации предприятием ООО «МегмитВелдинг». На рисунке 13-а представлен механизм подачи проволоки. Для дистанционного управления сваркой предлагается применить представленный на рисунке 13-б блок дистанционного управления. Для питания сварочной дуги предлагается применить представленный на рисунке 19-в источник Artsen Plus Megmeet. Сварочный робот, оснащенный указанным оборудованием, представлен на рисунке 14. Система импульсного управления позволяет обеспечить пространственную стабильность сварочной дуги и высокое качество сварного шва.



Рисунок 13 – Механизм подачи проволоки (а), пульт дистанционного управления (б), источник питания Artsen Plus Megmeet 350D (в)



Рисунок 14 – Компоновка робота для дуговой сварки

Применение импульсного управления, реализуемого запатентованной системой «Tranquil Fusion», позволяет уменьшить или полностью устранить набрызгивание электродного металла на основной металл изделия, улучшить внешний вид сварного соединения, повысить его качество и снизить трудозатраты на доводку изделия. За счёт изменения теплового баланса при импульсной сварке наблюдается снижение затрат электрической энергии и теплового воздействия на металл. Также следует принимать во внимание положительное воздействие, которое оказывает импульсный режим на структуру сварного шва – наплавленный металл приобретает мелкую зернистость, устраняется опасность возникновения горячих трещин и пор.

Применение роботизированной сварки позволяет повысить производительность работ и стабильность качества выпускаемой продукции. Также следует указать на значительное улучшение условия труда работников, что положительно сказывается на их здоровье. Количество работников может быть уменьшено за счёт автоматизации основных и вспомогательных операций.

### 2.3 Проектная технология роботизированной сборки и сварки

«Выполнение операций технологического процесса предусматривает подготовку, сборку, прихватку, сварку и контроль качества» [25]. «Сварка изделия выполняется с применением роботизированной сварки на описанном выше роботизированном комплексе, при этом сварные швы выполняются сваркой в защитном газе проволокой сплошного сечения. Операция прихватки выполняется с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения» [10].

Первая операция – подготовительная. Заготовки со склада поступают на участок сборки и сварки с применением цехового транспорта. В месте выполнения «сварного шва детали следует зачистить до металлического блеска, ширина зачистки должна превышать ширину шва на 20...25 мм» [25]. Также перед тем, как выполнять заполнение разделки и основной шов на деталях, необходимо проводить зачистку поверхности прихваток и поверхности деталей от шлака и брызг. Также при зачистке прихваток следует получать плавный переход от наплавленного металла к основному металлу. Перед самой прихваткой и сваркой проводят обезжиривание кромок с применением уайт-спирита или жидкости «Нефрос-С». Обезжиривание проводят «на ширину 20...25 мм во все стороны от шва. После обезжиривания с применением продувки сжатым воздухом просушивают кромки. После протирки растворителем и просушки детали могут вылеживаться не более 0,5 часа» [25]. В противном случае следует провести повторное обезжиривание кромок.

Вторая операция – сборка и прихватка. Сборку деталей выполняют на сборочной плите с применением универсального сборочного приспособления. Размещение заготовок должно выполняться с точностью не менее 0,5 мм. Сборку выполняют с применением прихваток. При сборке и сварке корпуса ремонтной муфты сначала собирают и прихватывают фланец и стакан. Длина прихватки составляет 60...70 мм, расстояние между прихватками составляет

300...350 мм. Высота прихватки составляет 3...4 мм. Далее собирают и прихватывают детали колпака – кольцо и стакан. Длина прихватки составляет 60...70 мм, расстояние между прихватками составляет 300...350 мм. Высота прихватки составляет 3...4 мм. Прихватки выполняют представленным на рисунке 15 полуавтоматом Plus Megmeet 350D.



Рисунок 15 – Оборудование для механизированной сварки производства MEGMEET (КНР)

Для защиты сварочной ванны предлагается применить защитную газовую смесь аргон + углекислый газ. Добавка в аргона в углекислого газа в количестве 5...10 % позволяет предотвратить образование пористости. Такое «малое содержание углекислого газа не оказывает негативного влияния на выгорание легирующих элементов» [25]. Для сварки применим сварочную проволоку Св-04Х19Н1М3 диаметром 1,2 мм. Сварку ведем с расстоянием между соплом горелки и изделием не более 25 мм, увеличение расстояния приводит к ухудшению газовой защиты. Расход защитной газовой смеси устанавливается 9...12 литров в минуту. Сварку следует «вести на постоянном токе обратной полярности, сила сварочного тока составляет 180...250 А при напряжении на дуге 20...25 В» [25]. Контролировать качество прихваток следует визуально. Требования к визуальному контролю прихваток такие же, как и при основной сварке. Не допускаются непровары, трещины и поверхностные поры более 2 мм. дефектную прихватку следует полностью зачистить и переварить.

Третья операция – роботизированная сварка. Сварка выполняется в автоматическом режиме с применением описанного выше роботизированного технологического комплекса. После выполнения сварки изделие автоматически помещается на транспортер-накопитель, откуда снимается оператором и передается на пост контроля качества с применением внутрицехового транспорта.

После выполнения сварки проводят тщательную очистку поверхности от шлака и брызг металла. Далее выполняют визуальный контроль на предмет наличия недопустимых дефектов. Недопустимыми дефектами являются выходящие на поверхность трещины, грубая чашуйчатость сварного шва, подрезы и наплыв более 0,5 мм. Визуальный и измерительный контроль проводится с применением комплекта, который включает в себя футляр для хранения, инструкцию для проведения контроля, универсальный шаблон сварщика, наборы радиусных шаблонов и шупов, электрический фонарик, рулетку, металлический угольник и линейку длиной 300 мм, штангенциркуль, набор луп с увеличением 3,5 (с подсветкой), 4, 7 и 10 (измерительная), маркер по металлу. Для неразрушающего контроля применяется дефектоскоп UCD-50. При обнаружении недопустимого дефекта дефектное место вырубает и переваривают [22].

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решены задачи обоснования выбора способа сварки, повышения эффективности сварки и построения проектной технологии. Дальнейшие работы необходимо выполнить в направлении оценки промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. Решение этой задачи предусматривает оценку производственных рисков и выработку перечня мер по их снижению [1], [5]. Также следует выполнить экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Решение этой задачи предусматривает сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий [14], [15].

### **3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений**

#### **3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта**

Представленная к защите выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при изготовлении ремонтных муфт для магистральных трубопроводов. Проведенные при подготовке аналитического и исполнительского раздела работы позволили синтезировать технические решения, расширяющие технологические возможности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для повышения производительности работ предложено применить роботизированную сварку. В работе проведена замена способа ручной дуговой сварки на сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением переносом электродного металла. Изменение технологии повлекло за собой образование негативных производственных факторов и требует выработки решений по их компенсации. Это позволит обеспечить безопасность предлагаемого проектного технологического процесса для персонала предприятия и окружающей среды. Анализ проектной технологии восстановительной наплавки представлен в таблице 4. Проектный технологический процесс укрупненно предусматривает последовательное выполнение шести операций: резка, гибка заготовок, сборка, сварка, сверление, контроль качества. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал, приведенный во втором столбце таблицы 4, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 4. Также для выполнения операции могут потребоваться расходные материалы, которые приведены в четвертом столбце таблицы 4. Таким образом, проектный технологический процесс условно разбивается на шесть операций, особенности кадрового и технического обеспечения выполнения которых представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Резка»	Слесарь-инструментальщик	Дисковые ножницы, фрезерный станок, кран-балка	Ножи
Гибка заготовок	Слесарь-инструментальщик	Пресс однокривошипный	
Сборка	Слесарь-сборщик, наладчик роботов	Узел разворота оснастки; манипулятор M-710iB; система объёмного видения I-21i; схват механический; кондуктор сборочный	
Сварка	Слесарь-сборщик, наладчик роботов	Кондуктор сборочный; манипулятор AM-120iB; установка OrigoMIG 240	Сварочная проволока Св-06X19H9T ø 1,2 мм; Смесь газов Ar+CO+O <sub>2</sub>
Сверление	Слесарь-инструментальщик	Горизонтально-сверлильный станок	Сверло P6M5
Контроль качества	Слесарь-сборщик, дефектоскопист	Лупа х4, ультразвуковой дефектоскоп, испытательный стенд	Рукавицы х/б, масло, вода техническая» [9]

На основании данных таблицы 4 может быть выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

При выполнении операций проектного технологического процесса источниками негативных производственных факторов становится применяемое технологическое оборудование и элементы обрабатываемых деталей. Выполнение сварочных операций сопряжено с действием дополнительных негативных факторов, связанных со сварочной дугой. В таблице 5 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

Таблица 5 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
Резка (Дисковые ножницы, фрезерный станок, кран-балка, острые края листов)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- «наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны» [5]</li> </ul>
Гибка заготовок (Пресс)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- «наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование» [5];</li> </ul>
Сборка (Узел разворота оснастки; манипулятор М-710iB; система объёмного видения I-21i; схват механический; кондуктор)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- «наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны» [5]</li> </ul>
Сварка (Кондуктор сборочный; манипулятор AM-120iB; установка OrigoMIG 240)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- «наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых деталей до высоких температур</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- брызги расплавленного металла» [5]</li> </ul>
Контроль качества (Ультразвуковой дефектоскоп)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- «повышенный уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне;</li> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> </ul>

	- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений» [5]
--	---

Представленные в таблице 5 негативные факторы в количестве семи штук, не являются новыми и успешная нейтрализация может быть обеспечена стандартными техническими средствами и методиками, находящимися в резерве промышленного предприятия.

### 3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

Предлагаемые мероприятия и средства по обеспечению безопасности персонала для наглядности сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Устранение профессиональных рисков

Фактор	Средство устранения	Индивидуальная защита
«острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования»	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) ролевые игры с работниками предприятия 3) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) предупреждающие плакаты и таблички 2) защитное отключение приводов оборудования 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) общеобменная вентиляция 2) устройства удаления загрязненного воздуха	Индивидуальные средства защиты органов дыхания
повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) проверка изоляции и заземления 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ролевые игры с работниками предприятия	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, перчатками
инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками
ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками» [5]

	3) ограничение проникновения на производственный участок	
--	--	--

Согласно данным, представленным в таблице 6, для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых в таблице 6 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Производства, применяющие сварку для изготовления деталей, характеризуются повышенной опасностью возникновения пожаров и требуют проработки вопроса обеспечения пожарной безопасности. Сварочная дуга является источником нагрева высокой интенсивности, кроме того, причиной возгорания может стать тепловое излучение от сварочной дуги и брызги расплавленного металла. Применение сварочных аппаратов предусматривает подвод силовых кабелей значительной мощности, которые также становятся причиной возникновения пожаров.. В таблице 7 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 7 – Идентификация класса потенциального пожара

«Наименование участка	Участок сборки и сварки ремонтных муфт
Наименование оборудования	Оборудование для подготовки, воздушный компрессор, сварочное оборудование, роботизированный технологический комплекс
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [5]



По результатам анализа данных, сведенных в таблицу 7, потенциальный пожар, опасность возникновения которого следует рассмотреть применительно к технологическому участку, относится к классу «Е». Такое решение принято по причине того, что помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 8 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 8 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	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, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [5]

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия.

### 3.5 Экологическая безопасность

При построении технологических процессов на современном предприятии следует руководствоваться не только соображениями безопасности персонала и сбережения предприятия от пожара. Ещё одним направлением является обеспечение разумного природопользования, которое предусматривает уменьшение антропогенного воздействия предприятий на окружающую среду. Реализация технологического процесса становится причиной возникновения антропогенных факторов, которые нарушают естественное состояние природы и при неблагоприятном исходе могут стать причиной экологической катастрофы. В настоящей выпускной квалификационной работе предусмотрены мероприятия по уменьшению антропогенного действия и защите основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы от антропогенных факторов. Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [1]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [1]
действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [1]

Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

## **4 Экономическое обоснование проектных решений**

### **4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, связанных с повышением эффективности сварочных операций при изготовлении ремонтных муфт трубопроводов из нержавеющей сталей. Базовая технология изготовления предусматривает применение ручной дуговой сварки и характеризуется рядом недостатков. Первым недостатком является низкая производительность, повышение которой за счёт оптимизации параметров режима достигнуто быть не может. Вторым недостатком является сложность условия труда сварщика, которому приходится работать в условиях вредного испарения от сварки и излучения дуги. Третьим недостатком является значительное количество дефектов, при этом уровень дефектности сильно зависит от квалификации сварщика и продолжает оставаться высоким даже в случае привлечения сварщиков высокой квалификации. Четвертым недостатком является значительная потеря электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки.

В исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы предложена проектная технология сборки и сварки с применением сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для выполнения прихваточных швов предлагается применить механизированную сварку, а для заполнения разделки предлагается применить роботизированную сварку. Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 10. Показатели экономической эффективности будут рассчитаны по известным методикам, на основании чего будет сделан вывод о целесообразности внедрения в производство предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

Таблица 10 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	500 тыс.	4500 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	12	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	м <sup>2</sup>	100	100
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м <sup>2</sup>	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [14]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда,

снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [14].

## 4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени  $F_H$  и эффективного фонда рабочего времени  $F_3$ , который отличается от фонда рабочего времени  $s$  по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени  $B$ . Для расчётов принимается  $B=7\%$ .

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен  $K_{см}$  и количество рабочих дней в году  $D_p$ , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем  $K_{см}=1$  и  $D_p=277$ . С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет  $T_{см}=8$  часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве  $D_{п}=7$  дней, в эти дни на величину  $T_{п}=1$  час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным  $B = 7\%$ , таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

$$F_3 = F_H(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени  $F_3 = 2054$  часов.

### 4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени  $t_{шт}$ . Для расчета величины штучного времени  $t_{шт}$  необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как  $t_{маш}$  – машинное время. Вспомогательное время  $t_{всп}$  является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять  $t_{всп} = 0,1t_{маш}$ . На обслуживание рабочего места расходуется время  $t_{обсл}$ , для которого» [14] в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять  $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$ . На личный отдых работника затрачивается время  $t_{отд}$ , для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять  $t_{отд} = 0,05t_{маш}$ . На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как  $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$ . Таким образом, расчёт штучного времени для базового  $t_{шт.баз}$  и проектного  $t_{шт.проектн.}$  вариантов технологии составит:

$$\begin{aligned} t_{шт} &= t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . & (3) \\ t_{шт.баз} &= 5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 9 \text{ часов} \\ t_{шт.проектн.} &= 1,5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,5 \text{ часов} \end{aligned}$$

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы  $\Pi_{Г}$ , значение которой зависит от штучного времени  $t_{шт}$  и эффективного фонда времени  $F_{э}$ , расчёт годовой программы выполняется по формуле

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

Согласно (4) были получены для базового варианта  $\Pi_{\Gamma} = 2054/9 = 228$  изделий за год, для проектного варианта  $\Pi_{\Gamma} = 2054/2,5 = 820$  изделий за год.

С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать 200 изделий в год.

С учётом годового эффективного фонда времени  $F_{\text{э}} = 2054$  часов, годовой программы  $\Pi_{\Gamma} = 200$ , коэффициента выполнения нормы  $K_{\text{вн}} = 1,03$ , штучного времени  $t_{\text{шт}}$  количество оборудования рассчитывается как

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

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 9$  часов,  $n_{\text{расч}} = 9 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$ , при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 2,5$  часов,  $n_{\text{расч}} = 2,5 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,1$ . При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте  $n=1$ . Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки  $K_3$  следующим образом

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

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен  $K_3 = 0,4/1 = 0,4$ , для проектного варианта коэффициент загрузки равен  $K_3 = 0,1/1 = 0,1$ . Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.

#### **4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии**

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_{ТЗ} = 1,05$ , нормы расхода  $H_p$  и цены  $C_m$  материалов:

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

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем  $M_{\text{баз.}} = (800 \cdot 1,5 + 900 \cdot 2,1) \cdot 1,05 = 3244$  руб. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет  $M_{\text{баз.}} = (800 \cdot 2,16 + 3000 \cdot 0,0468) \cdot 1,05 = 1961$  руб.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени  $t_{\text{шт}}$ , и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет  $C_{\text{ч}} = 200$  рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_{\text{д}} = 1,88$ . Таким образом, для проектной и базовой технологии:

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

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{\text{шт}} = 9$  часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы  $Z_{\text{осн}} = 9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 3384$  рублей; для проектного варианта построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{\text{шт}} = 2,5$  часов, согласно (8) основная заработная плата  $Z_{\text{осн.}} = 2,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 940$  рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$ , для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит  $K_{\text{доп}} = 0,12$ . Величина  $Z_{\text{доп}}$  пропорциональна основной заработной плате  $Z_{\text{осн}}$ :

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{\text{осн}} = 3384$  рублей, поэтому согласно (9)  $Z_{\text{доп}} = 3384 \cdot 0,12 = 406$  рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{\text{осн}} = 940$  рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}} = 940 \cdot 0,12 = 113$  рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной  $Z_{\text{доп}}$  заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП =  $3384 + 406 = 3790$  рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП =  $940 + 113 = 1053$  рублей.

Размер отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{\text{сн}} = 0,34$ , с учётом которого:

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

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 3790 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}} = 3790 \cdot 34/100 = 1289$  рублей. Для проектного варианта технологии ранее получено ФЗП = 1053 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}} = 1053 \cdot 34/100 = 358$  рублей.

Амортизационные отчисления  $A_{об}$  являются составляющими затрат на оборудование  $Z_{об}$  и «рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается  $N_a = 21,5\%$ : эффективного фонда времени  $F_э$ , стоимости оборудования  $C_{об}$ , которое для базового варианта составляет  $C_{об} = 500000$  рублей, для проектного варианта  $C_{об} = 4500000$  рублей; машинного времени  $t_{маш}$ , которое для базового варианта составляет  $t_{маш} = 5$  часов, для проектного варианта  $t_{маш} = 1,5$  часов» [14].

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

«Для базового варианта технологии согласно (10)  $A_{об} = 500000 \cdot 21,5 \cdot 5 / 2054 / 100 = 262$  рубля. Для проектного варианта технологии согласно (10)  $A_{об} = 4500000 \cdot 21,5 \cdot 1,5 / 2054 / 100 = 707$  рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование  $Z_{об}$  являются затраты на электрическую энергию  $P_{ээ}$ . Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии  $C_{ээ}$ , которая для рассматриваемого варианта принимается  $C_{ээ} = 3,2$  руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени  $t_{маш}$  и установленной мощности оборудования  $M_{уст}$ .

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{ээ} / \text{КПД}. \quad (12)$$

Согласно (12) для базового варианта  $P_{ээ} = 5 \cdot 12 \cdot 3,2 / 0,7 = 274$  рублей. Согласно (12) для проектного варианта  $P_{ээ} = 1,5 \cdot 20 \cdot 3,2 / 0,85 = 113$  рублей.

Затраты на оборудование  $Z_{об}$  являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных  $A_{об}$  и  $P_{ээ}$ ,» [14]:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (13)$$

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии  $Z_{об.} = 262 + 274 = 536$  рублей, для проектного варианта технологии  $Z_{об} = 707 + 113 = 820$  рублей.

Технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте ФЗП = 3790 рублей, в проектном варианте ФЗП = 1053 рублей), затрат на материалы (в базовом варианте  $M = 3244$  рублей, в проектном варианте  $M = 1961$  рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте  $O_{\text{сс}} = 1289$  рублей, в проектном варианте  $O_{\text{сс}} = 358$  рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте  $Z_{\text{об}} = 536$  рублей, в проектном варианте  $Z_{\text{об}} = 820$  рублей). Таким образом:

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

«По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта  $C_{\text{тех}} = 3244 + 3790 + 1289 + 536 = 8859$  рублей, для проектного варианта себестоимость составляет  $C_{\text{тех}} = 1961 + 1053 + 358 + 820 = 4192$  рублей.

Расчёт цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  ведется с учётом основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}} = 1,5$ :

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии» [14]  $C_{\text{цех}} = 8859 + 1,5 \cdot 3384 = 8859 + 5076 = 13935$  рублей, для проектного варианта  $C_{\text{цех}} = 4192 + 1,5 \cdot 940 = 4192 + 1410 = 5602$  рублей.

Расчёт заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  ведется с учётом основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{\text{зав}} = 1,15$ :

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

Согласно (16)  $C_{\text{зав}} = 13935 + 1,15 \cdot 3384 = 13935 + 3892 = 17827$  рублей для базовой технологии и  $C_{\text{зав}} = 5602 + 1,15 \cdot 940 = 5602 + 1081 = 6683$  рублей для проектной технологии. Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 11, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 16.

Таблица 11 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	3244	1961
2. Фонд заработной платы	ФЗП	3790	1053
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	1289	358
4. Затраты на оборудование	Зоб	536	820
5. Технологическая себестоимость	С <sub>тех</sub>	8859	4192
6. Цеховые расходы	Р <sub>цех</sub>	5076	1410
7. Цеховая себестоимость	С <sub>цех</sub>	13935	5602
8. Заводские расходы	Р <sub>зав</sub>	3892	1081
9. Заводская себестоимость» [14]	С <sub>зав</sub>	17827	6683

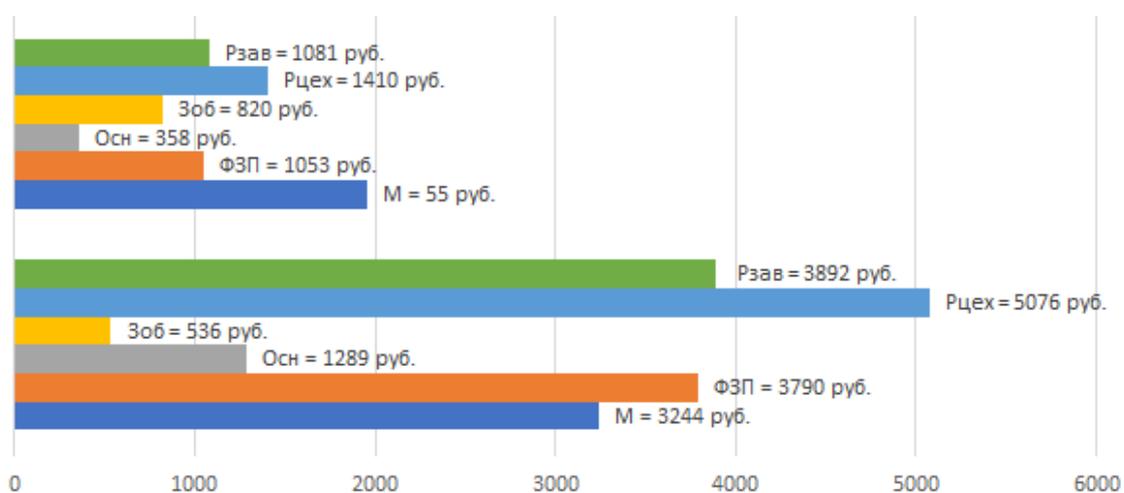


Рисунок 16 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений. При этом в проектном варианте по сравнению с базовым отмечается существенное снижение затрат на материалы, фонд заработной платы и отчисления на социальные нужды. Несмотря на повышение производительности затраты на оборудование не уменьшились, так как выросла стоимость применяемого оборудования.

#### 4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования  $C_{об.б.}$  определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается

$T_c = 2$  года, и цены нового оборудования на рынке  $C_{перв}$ , которая принимается  $C_{перв} = 500000$  рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений  $H_a = 21,5 \%$ . Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

$$C_{об.б.} = C_{перв.} - (C_{перв.} \cdot T_{сл.} \cdot H_a / 100). \quad (17)$$

Согласно (17)  $C_{об.б.} = 500000 - (500000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 285000$  рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,4$ , с учётом которого для остаточной стоимости оборудования  $C_{об.б.} = 285000$  рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = C_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 285000 \cdot 0,4 = 114000 \text{ рублей}. \quad (18)$$

Для расчета размеров капитальных затрат  $K_{общ.пр.}$  по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади  $K_{пл.пр.}$ , капитальных затрат на оборудование  $K_{об.пр.}$  и сопутствующих затрат  $K_{соп.}$ :

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

«Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования  $C_{об. пр.} = 4500000$  рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз} = 1,05$  и коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,1$ . Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование  $K_{об. пр.}$ :

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

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет  $K_{об.пр} = 4500000 \cdot 1,05 \cdot 0,1 = 472500$  рублей.

Сопутствующие капитальные затраты  $K_{соп}$  рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования  $P_{мон}$  и расходов на демонтаж

оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии  $P_{дем}$ . Расчёты ведутся по формуле

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

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования  $K_{дем} = 0,05$ . С учётом ранее заданной цены оборудования  $C_{об.б} = 500000$  рублей расходы на демонтаж  $P_{дем}$  составят:

$$P_{дем} = C_{об.б} \cdot K_{д} = 500000 \cdot 0,05 = 25000 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования  $C_{об.пр.}$  с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается  $K_{мон} = 0,05$ » [14]:

$$P_{монт} = C_{об.пр.} \cdot K_{м} = 4500000 \cdot 0,05 = 225000 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов  $K_{соп}$  согласно (21) составляет  $K_{соп} = 25000 + 225000 = 250000$  рублей.

Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ.пр.}$  согласно (19) составляет  $K_{общ.пр.} = 472500 + 250000 = 722500$  рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ.пр.} = 722500$  рублей и капитальных затрат по базовой технологии  $K_{общ.б.} = 114000$  рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты  $K_{доп}$ :

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб} = 722500 - 114000 = 608500 \text{ рублей}. \quad (24)$$

«Удельные капитальные вложения  $K_{уд}$  рассчитываются как отношение величины капитальных вложений  $K_{общ}$  к годовой программе  $\Pi_{г}$  согласно формулы

$$K_{уд} = K_{общ} / \Pi_{г}. \quad (25)$$

Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 114000/200 = 570$  руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 722500/200 = 3612$  руб./ед» [14].

#### 4.6 Расчёт экономических показателей

«Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений» [14].

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости  $\Delta t_{шт}$ , которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта  $t_{шт пр} = 5$  часов и штучного времени для базового варианта  $t_{шт б} = 9$  часов:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (9 - 5) \cdot 100 \% / 9 = 44 \% . \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда  $\Pi_T$ , рассчитываемая как

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = (100 \cdot 44) / (100 - 44) = 81 \% . \quad (27)$$

Следующим объективным показателем является «снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии  $C_{тех.б} = 8859$  рублей и себестоимости по проектной технологии» [14]  $C_{тех.пр.} = 4192$  рублей:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б} - C_{тех.пр.}) \cdot 100 \% / C_{тех.б} = (8859 - 4192) \cdot 100 \% / 8859 = 53 \% . \quad (28)$$

Для расчёта «условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_T$  применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному

вариантам» [14]  $C_{зав.б} = 17827$  рублей и  $C_{зав.пр.} = 6683$  рублей Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot \Pi_{г} = (17827 - 6683) \cdot 200 = 2228800 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{ок}$  рассчитывается для  $K_{доп} = 608500$  рублей и  $\mathcal{E}_{уг} = 2228800$  рублей по формуле:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 608500 / 2228800 = 0,3 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат  $E_{н} = 0,33$ . С учётом дополнительных капитальных вложений  $K_{доп} = 608500$  рублей и условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{уг} = 2228800$  рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{г} = \mathcal{E}_{уг} - E_{н} \cdot K_{доп} = 2228800 - 0,33 \cdot 608500 = 2027995 \text{ рублей.} \quad (31)$$

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 2,228 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 72 %, производительности труда повышается на 257 %. Технологическая себестоимость снижается на 53 %. Годовой экономический эффект оценивается в 2,028 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

## Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, связанных с повышением эффективности сварочных операций при изготовлении ремонтных муфт трубопроводов из нержавеющей сталей.

На основании анализа свойств стали 08X18H10T, из которой выполняется ремонтная муфта, сформулированы затруднения, сопровождающие получение сварного соединения. Предложены мероприятия по устранению этих затруднений, заключающиеся в назначении параметров режима сварки и соблюдении заданной техники сварки

Согласно базовой технологии ремонтная муфта из нержавеющей стали выполняется с применением ручной дуговой сварки, которая характеризуется рядом недостатков, критически сказывающихся на производительности и показателях производства. Первым недостатком является низкая производительность, повышение которой за счёт оптимизации параметров режима достигнуто быть не может. Вторым недостатком является сложность условия труда сварщика, которому приходится работать в условиях вредного испарения от сварки и излучения дуги. Третьим недостатком является значительное количество дефектов, при этом уровень дефектности сильно зависит от квалификации сварщика и продолжает оставаться высоким даже в случае привлечения сварщиков высокой квалификации. Четвертым недостатком является значительная потеря электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки.

На основании анализа источников научно-технической информации и знаний, полученных при обучении на кафедре сварки, для построения проектной технологии сварки деталей ремонтной муфты из нержавеющей сталей установлено, что для построения проектной технологии сварки могут быть рассмотрены такие способы, как ручная дуговая сварка штучными электродами, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, сварка в

защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка самозащитными порошковыми проволоками, сварка под флюсом.

Альтернативные способы сварки были рассмотрены с анализом их преимуществ и недостатков, была выставлена экспертная оценка по технологическим критериям, на основании чего предложено применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, которую для расширения технологических возможностей предлагается вести с импульсным управлением переносом металла.

Составлена планировка роботизированного технологического комплекса для роботизированной сварки рассматриваемого изделия. Составлена карта технологического процесса сборки и сварки изделия, предусматривающая последовательность выполнения технологических операций, описание технологического оборудования, назначение параметров режима и технических условия на выполнение операций.

Выполнена идентификация производственных рисков, которые сопровождают реализацию предлагаемых технологических решений в производстве. На основании анализа действующей нормативной документации предложены стандартные меры по обеспечению безопасности персонала и окружающей среды. На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 2,228 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 72 %, производительности труда повышается на 257 %. Технологическая себестоимость снижается на 53 %. Годовой экономический эффект оценивается в 2,028 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Полученные в настоящей выпускной квалификационной работе решения предлагаются к внедрению на предприятиях, выпускающих сварные конструкции ответственного назначения.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
2. Бербасова Н. Ю. Инновационная восприимчивость предприятия как инструмент повышения эффективности сварочного производства // Повышение эффективности сварочного производства и мотивация труда. Бобруйск, 2000. С. 39–40.
3. Бернадский В.Н., Маковецкая О.К. Вклад сварки в экономику США // Сварочное производство. 2004. № 5. С. 43-50.
4. Бернадский В.Н., Маковецкая О.К. Экономико-статистические данные по сварочному производству (СВЭСТА-2001). Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2001. 85 с.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Гурвич Л.Я., Лащевский В.Б. Сопротивление коррозионному растрескиванию высокопрочных нержавеющей сталей и их сварных соединений // Защита металлов. 1993. Т. 29, № 5.
7. Денисова Л. С. Рекомендации по обеспечению качества сварочных работ в строительстве. Минск : НТПО «Белстройнаука». 1990. 105 с.
8. Дудко Д. А., Сидорчук В. С., Зацерковный С. А. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима // Автоматическая сварка. 1991. № 12. С. 59–60.
9. Зарипов М. З. Модернизация технологии изготовления сварных аппаратов из стали 12Х18Н10Т с применением вибрационной обработки: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2010.
10. Карасев М. В., Копиленко Е. А., Павленко Г. В. Основные тенденции развития производства сварочного оборудования в объединении

«СЭЛМА-ИТС» и его применение в России и странах СНГ // Автоматическая сварка. 2002. № 5. С. 52–57.

11. Кныш В. В., Соловей С. А., Кузьменко А. З. Кинетика роста несквозных усталостных трещин в сталях 03Х20Н16АГ6 и 12Х18Н10Т при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений // Автоматическая сварка. 2007. № 12. С. 21–25.

12. Куркин А. С., Королев С. А., Пономарев П. А. Анализ причин ограниченного ресурса конструкций для ремонта нефтепровода // Сварка и диагностика. 2014. № 5. С. 58-61.

13. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.

14. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

15. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

16. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.

17. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

18. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

19. Патент № 2219032 РФ, МКИ В23К35/365. Состав электродного покрытия / Лозовский М. М., Волохов А. П., 2003.

20. Патон Б. Е. Потапьевский А. Г., Подола И. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса // Автоматическая сварка. 1964. № 1. С. 1–6.
21. Полосков С. И., Букаров В. А., Ищенко Ю. С. Особенности заполнения разделки при автоматической орбитальной сварке неповоротных стыков труб // Сварочное производство. 2003. № 8. С. 3–11.
22. Полосков С. И., Ищенко Ю. С., Букаров В. А. Минимизация вероятности образования наружных дефектов швов в процессе автоматической орбитальной сварки // Сварочное производство. 2003. № 10. С. 6–13.
23. Раевский В. А. Разработка методики определения режима импульсной аргодуговой сварки труб с трубными решетками из стали 12X18H10T: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – М.: МГТУ им. Баумана, 2007
24. Саидов Р. М. Особенности формирования сварных швов нержавеющей сталей при А-МИГ сварке пульсирующей дугой // Computational nanotechnology. 2017. № 3. С. 45–51.
25. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.
26. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
27. Welding's economic impact established // Welding Journal. 2002. Vol. 81. №4. P. 4.