

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 исправления коррозионных дефектов магистральных трубопроводов

Обучающийся

П.П. Комаров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

ст. преподаватель Д.И. Плахотный

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Перед современным производителем сварочных работ стоит задача наращивания скорости проведения ремонта магистральных трубопроводов, значительное количество которых в настоящее время находится в критическом состоянии. При этом в ходе дальнейшей эксплуатации сложившаяся ситуация будет только усугубляться. На основании этого следует признать актуальность выбранного направления, в котором ведутся исследования в настоящей выпускной квалификационной работе. Структура выпускной квалификационной работы включает введение, четыре раздела, заключение и библиографический список. Во введении на основании краткого анализа состояния вопроса выполнено обоснование актуальности и сформулирована цель. Первый раздел содержит исходную информацию по особенностям конструкции рассматриваемого трубопровода и условий эксплуатации, анализу материала и особенностям базовой технологии ремонта. Во втором разделе обоснован выбор способа сварки, который предлагается использовать для построения проектной технологии. Для сварки предложен модернизированный с использованием разработок российских ученых источник питания. Такой источник питания реализуется на базе стандартного сварочного выпрямителя и существенно расширяет технологические возможности механизированной сварки. С использованием предлагаемых решений составлена проектная технология. В третьем разделе рассмотрены вопросы защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми мероприятиями. В четвертом разделе представлено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Дополнительные капитальные вложения составляют 0,90 млн. рублей при экономическом эффекте 0,95 млн. рублей. Результаты предлагается внедрить при ремонтной сварке магистральных трубопроводов.

## 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 эксплуатации магистральных трубопроводов приходится считаться с разнонаправленными тенденциями, определяющими особенности функционирования российского транспорта энергетических ресурсов. Во-первых, в мире наблюдается устойчивый тренд на снижение отпускной цены природного газа и нефти, что объясняется ростом добычи, повышением энергоэффективности технологических процессов и введением ценового регулирования применительно к российским поставщикам. Во-вторых, доставка природного газа и нефти российским поставщиком выполняется, в основном, по магистральным трубопроводам, суммарная длина которых составляет десятки тысяч километров. В-третьих, имеющиеся трубопроводы в значительном количестве эксплуатируются в течение продолжительного срока, что делает необходимым проведение на них ремонтных работ. Как показывает аналитика, российские трубопроводы требуют проведения ремонта на протяжении 7 тысяч километров в год [9], [15]. Силами поставщика ресурсов за счёт прибыли возможно проведение ремонта на протяженности приблизительно 2 тысяч километров в год. Проведение ремонта еще на 5 тысячах километров в год предполагается осуществлять за счёт субсидий. Таким образом, протяженная система магистральных трубопроводов становится фактором, определяющим экономические потери, которые по мере стремительного старения трубопроводов будут год от года только возрастать. Статистики эксплуатации трубопроводов показывает, что на каждую тысячу километров в год приходится порядка 0,14 крупных аварии с разливом продукта и повреждением природы. По причине аварийного разрушения трубопровода и разлива продукта происходит до 85 % остановок магистральных трубопроводов [19]. Значительный вклад в старение трубопроводов вносит коррозионный износ. Оперативное исправление коррозионных дефектов выполняется с применением сварочных технологий. Таким образом актуальна цель выпускной квалификационной работы –

повышение эффективности сварки при исправлении коррозионных дефектов магистральных трубопроводов.

В настоящее время общая протяженность нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в Российской Федерации составляет порядка 100 тысяч километров [2]. При этом основной причиной аварийной остановки перекачки продукта является повреждение стенки трубопровода в результате действия коррозионных процессов. Сейчас на долю коррозионных разрушений приходится порядка 50 % всех аварий на трубопроводах. Ситуация усугубляется тем, что значительное количество трубопроводов имеет срок службы более 15 лет, по причине чего коррозионные разрушения стенки трубы достигают в ряде случаев критических значений и требует проведения оперативного ремонта. При этом восстановление состояния трубы желательно выполнять без остановки перекачки продукта, так как в противном случае существенно пострадает пропускная способность трубопровода.

В связи с этим актуальной является цель выпускной квалификационной работы – повышение операция сварки при исправлении коррозионных дефектов на магистральных трубопроводах.

Настоящая выпускная квалификационная работа в качестве объекта исследования предполагает принять технологический процесс ремонтной сварки при исправлении коррозионных дефектов магистральных трубопроводов. В качестве предмета исследования предлагается принять конкретный магистральный трубопровод (газопровод или нефтепровод), описание которого, условия работы и возникающие дефекты будут описаны в аналитическом разделе настоящей выпускной квалификационной работы.

При достижении поставленной цели предстоит решение ряда задач, для чего предлагается применить разработки отечественных исследователей-сварщиков, что «позволит обеспечить независимость российского производства от поставок высокотехнологичных компонентов и оборудования иностранного производства» [3], [11], [21].

# 1 Анализ исходных данных и известных решений по вопросу исправления коррозионных дефектов на магистральных трубопроводах

## 1.1 Описание предмета исследования

В настоящей выпускной квалификационной работе в «качестве магистрального трубопровода, на котором предстоит реализовать технические решения по исправлению коррозионных дефектов, выступает магистральный нефтепровод Восточная Сибирь – Тихий океан. Так как значительная часть этого нефтепровода проходит в условиях вечной мерзлоты» [8], вопрос исправления коррозионных дефектов является актуальным. В настоящее время в результате действия глобального потепления происходит подтаивание грунта с образованием коррозионно-активных участков подтапливания [8]. На рисунке 1 представлена схема прокладки магистрального нефтепровода. Диаметр труб составляет 1067...1220 мм при толщине стенки 18...27 мм. При прокладке трубопровода применялись трубы классов прочности К56...К70. На рисунке 2 представлен пример коррозионно опасного участка с подтапливанием в результате таяния вечной мерзлоты. Статистические данные по аварийности и травматизму на магистральных трубопроводах Российской Федерации представлены на рисунке 3 и рисунке 4.



Рисунок 1 – Схема прокладки магистрального нефтепровода



Рисунок 2 – Примеры подтоплений в результате таяния вечной мерзлоты

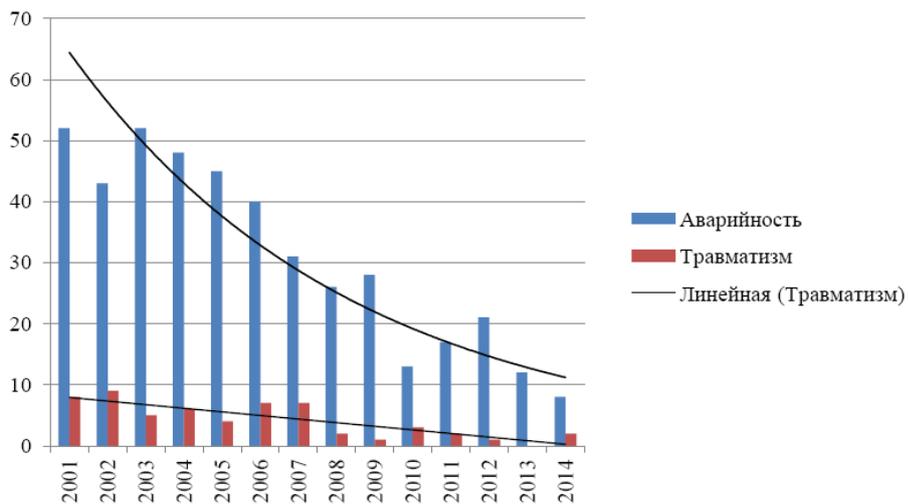


Рисунок 3 – Аварийность и травматизм на магистральных трубопроводах

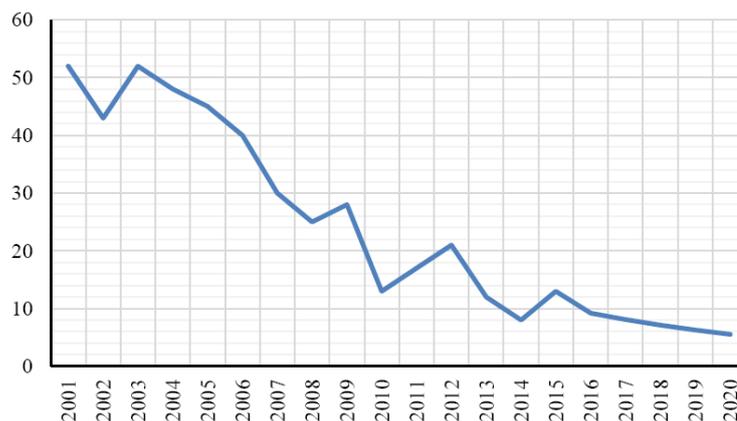


Рисунок 4 – Прогнозирование аварий на магистральных трубопроводах РФ

«Как показывает статистика, в течение продолжительного периода наблюдалось неуклонное снижение числа аварий и травматизма на магистральных трубопроводах Российской Федерации» [8]. Однако в

настоящее время трубопроводы переходят в стадию естественного старения, в ходе которой, если не принимать меры по восстановлению их работоспособности, количество внештатных ситуаций может резко возрасти. Помимо фактора старения и глобального потепления следует принимать во внимание антропогенный фактор, в результате которого скорость коррозии трубопроводов по сравнению с прошлыми годами возрастает. Это связано с усилением блуждающих в земле токов, которые возникают от проходящих железных дорог, линий электропередач и т.д.

На рисунке 5 представлены примеры дефектов, которые обнаруживаются на трубопроводах в ходе мониторинга их состояния.

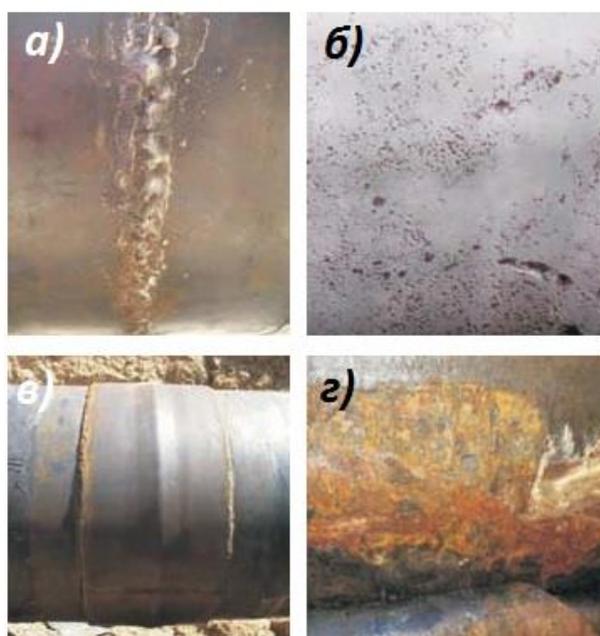


Рисунок 5 – Примеры обнаруживаемых дефектов на нефтепроводах

«Первым дефектом является представленной на рисунке 5-а сварное соединение, выполненное с нарушением технологии. Вторым дефектом является коррозионное повреждение стенки трубы, представленное на рисунке 5-б. Третьим дефектом является применение недопустимых ремонтных конструкций, пример которой представлен на рисунке 5-в» [8]. Четвертым примером обнаруживаемых дефектов является представленная на рисунке 5-г язвенная коррозия металла стенки трубы.

## 1.2 Анализ материала для изготовления нефтепровода

Для изготовления трубы нефтепровода была применена сталь 10Г2ФБ, имеющая класс прочности К60 и ферритно-перлитную структуру. Состав стали представлен в таблице 1 [10]. По сравнению с ранее применяющимися сталями для изготовления магистральных трубопроводов в стали 10Г2ФБ уменьшено количество перлитной составляющей.

Существенное повышение прочности и хладостойкости в рассматриваемой стали достигается за счёт уменьшения размеров зерна в структуре. За счёт введения в сталь карбидообразующих элементов достигается повышение прочности стали в сочетании с экономным использованием таких легирующих элементов, как медь, хром и никель [18], [23], [25]. Структура основного металла трубы после прокатки и после отливки представлена на рисунке 6. Преимущества стали 10Г2ФБ по сравнению с аналогами по прочностным показателям показано на рисунке 7.

На рисунке 7 представлено сравнение с аналогами пластических свойств стали 10Г2ФБ, из которого видно, что высокие прочностные свойства рассматриваемой стали нашли удачное сочетание с пластическими свойствами, по которым сталь 10Г2ФБ не уступает большинству распространенных трубных сталей. Высокая пластичность стали 10Г2ФБ достигается за счёт образования в её структуре при прокатке мелкозернистого феррита.

На свариваемость сталей в значительной степени оказывает влияние эквивалентное содержание углерода, которое может быть рассчитано в зависимости от химического состава стали. На рисунке 8 представлены результаты расчёта эквивалентного «содержания углерода, из представленной диаграммы следует, что сталь 10Г2ФБ обладает минимальным эквивалентным содержанием углерода по сравнению с большинством рассматриваемых сталей трубного назначения» [8].

Таблица 1 – Состав стали 10Г2ФБ

С	Mn	Si	S	P	Ti	Al	V	Nb	N <sub>2</sub>
0,10	1,58	0,38	0,005	0,015	0,019	0,034	0,076	0,048	0,008

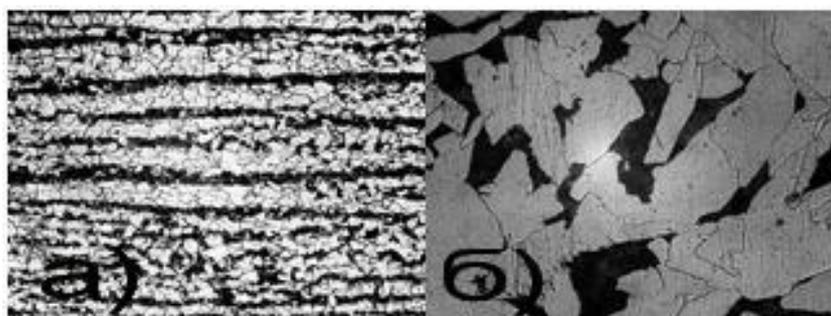


Рисунок 6 – Структура основного металла после прокатки (а) и отливки (б)

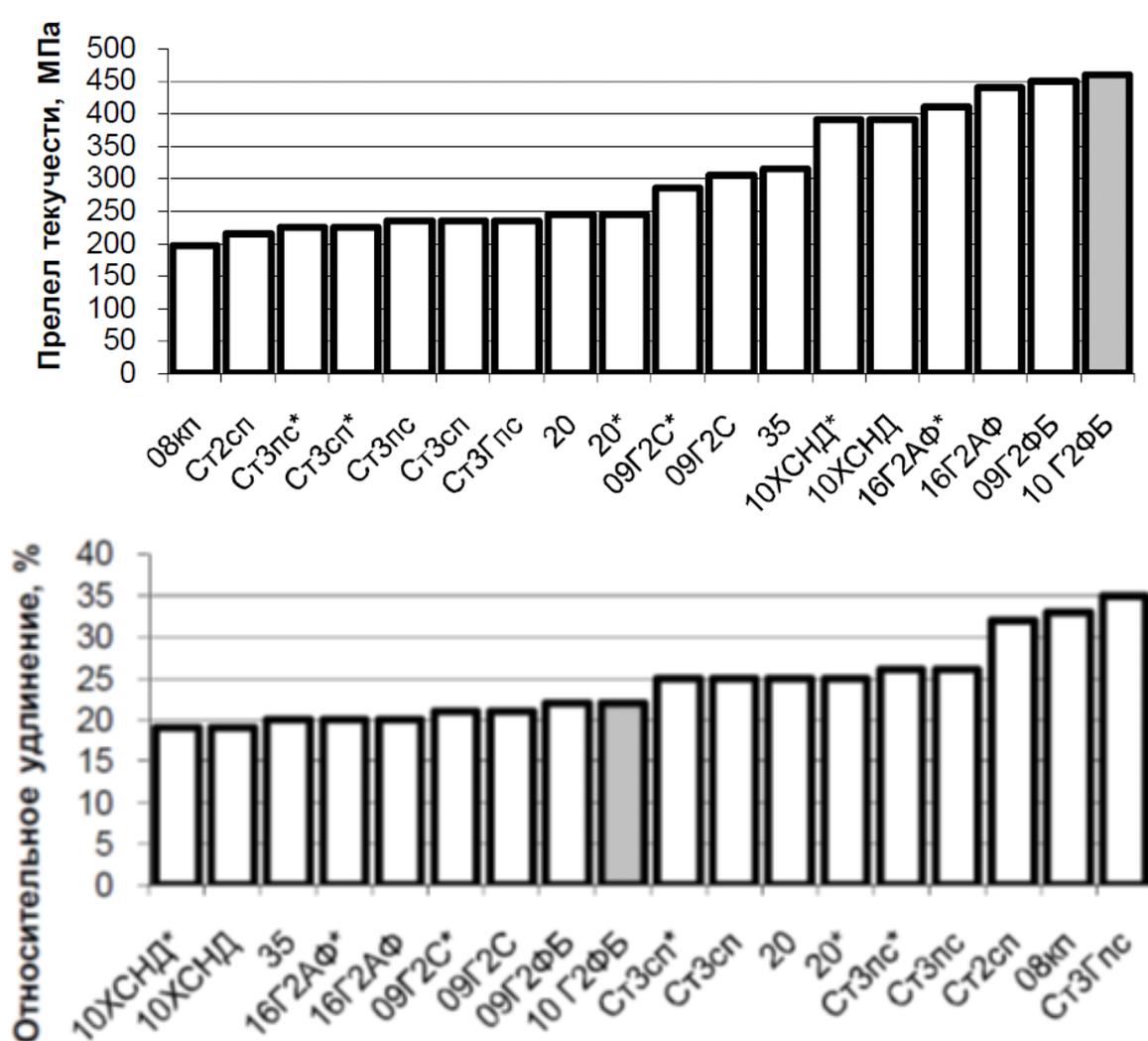


Рисунок 7 – Сравнение прочности и пластичности стали 10Г2ФБ с аналогами

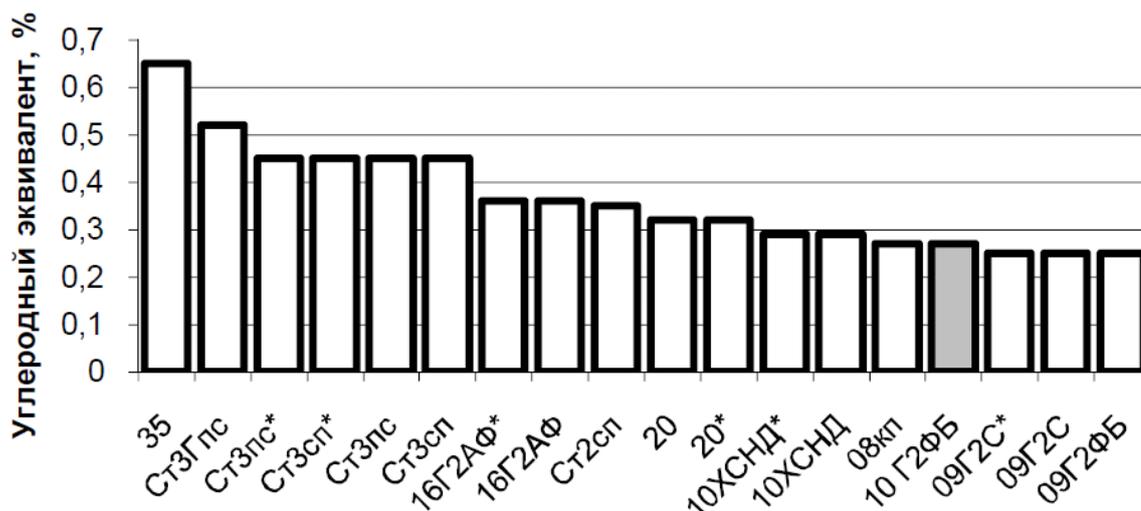


Рисунок 8 – Эквивалентное содержание углерода в рассматриваемых сталях

На основании проведенного анализа следует отметить высокую перспективность применения стали 10Г2ФБ для изготовления магистральных трубопроводов, так как эта сталь удачно сочетает в себе высокую прочность, пластические свойства и обладает хорошей свариваемостью с применением всех способов сварки.

При выполнении сварных конструкций «из стали 10Г2ФБ следует учитывать снижение стойкости соединений против кристаллизационных трещин по сравнению с низкоуглеродистыми сталями, что является причиной совместного действия марганца, углерода и кремния, содержащихся в стали. Для того, чтобы снизить образование горячих трещин, применяют сварочные материалы с пониженным содержанием серы и углерода» [8].

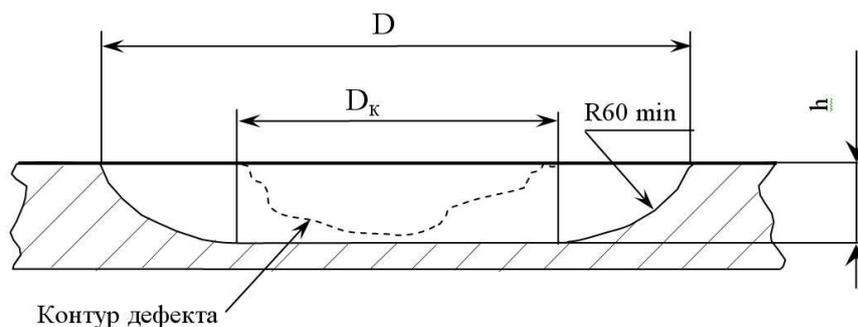
За счёт легирования металла сварного шва из сварочной проволоки или флюса возможно получение равнопрочного соединения, правильная система легирования позволяет уменьшить опасность хрупкого разрушения и образования горячих трещин. Для того, чтобы предотвратить образование закалочных структур при выполнении сварных конструкций из рассматриваемой стали может понадобиться применение предварительного подогрева, который способствует перлитному превращению.

### 1.3 Базовая технология исправления коррозионных дефектов

Для выполнения ремонтной наплавки при исправлении коррозионных дефектов магистрального трубопровода применяется ручная дуговая сварка, которую ведут штучными электродами типа Э60 или Э50А. Для питания сварочной дуги применяется представленный на рисунке 9 выпрямитель ВД-306. Предварительно перед выполнением ремонтной наплавки проводят подготовку части поверхности трубы, для чего на ней удаляют остатки защитного покрытия, загрязнения и снег. После расчистки дефектного места проводят его обработку с применением шлифовальной машины, в процессе которой формируют представленную на рисунке 10 выборку, удаляют задиры, острые выступы и заусенцы. «Выборка должна быть овальной формы и иметь гладкую поверхность дна, переход к основному металлу трубы должен иметь радиус не менее 60 мм, что позволяет уменьшить уровень остаточных напряжений в месте соприкосновения наплавленного слоя и основного металла трубы. При зачистке следует заглубляться в здоровый металл не менее чем на 1 мм. Границы выборки размечают с применением гибких овальных шаблонов. После выборки остаточная толщина стенки трубы должна иметь толщину не менее 5 мм, что контролируется ультразвуковым толщиномером А-1208, представленным на рисунке 11. Выборку ведут шлифовальной машиной ИП-2014, представленной на рисунке 12» [2].



Рисунок 9 – Сварочный выпрямитель ВД-306, применяемый в базовой технологии



$D_k$  – размер удаляемого дефекта, мм;  $D$  – размер выборки, мм;  $h$  – глубина выборки, мм

Рисунок 10 – Форма выборки



Рисунок 11 – Ультразвуковой толщиномер А-1208

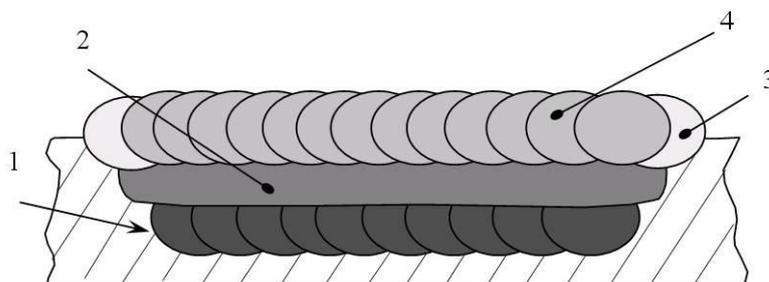


Рисунок 12 – Радиальная шлифовальная машина ИП-2014

«Далее проводят предварительный подогрев основного металла, который ведут с применением газового нагревателя и пропан-бутановой газовой смеси, температура подогрева составляет 100...130 °С. Температуру предварительного подогрева контролируют при помощи двух контактных

термопар ТК-5, устанавливаемых на расстоянии 15 мм от края выборки. Ширина зоны нагрева составляет 80 мм во все стороны от края выборки» [15].

После предварительного подогрева проводят восстановительную наплавку, последовательность наложения слоев представлена на рисунке 13. Наплавку ведут узкими валиками. «Первый слой наплавки выполняют узкими параллельными валиками, которые накладывают поперек оси трубы, сварку следует вести на подъем. Второй и последующие слои выполняют параллельными узкими валиками, которые накладывают вдоль оси трубы. Третий и последующие слои выполняют параллельными узкими валиками, которые накладывают поперек оси трубы аналогично первому слою. Перекрытие валиков должно быть не менее 3 мм при максимально допустимой ширине валика 10 мм. Кратер сварного шва должен быть выведен на наплавленный металл и тщательно зачищен» [8].



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

Рисунок 13 – Последовательность ремонтной заварки выборки

«Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности, параметры режима сварки в зависимости от выполняемого слоя и применяемого электрода» [15] представлены в таблице 2. Сварку ведут короткой дугой с поперечными колебаниями. Порядок наложения слоев относительно оси трубы представлен на рисунке 14. Перед сваркой облицовочного слоя выполняют сварку контурного шва, который накладывают по линии выборки с поперечными колебаниями относительно линии выборки, обеспечивающие ширину контурного шва 8...12 мм.

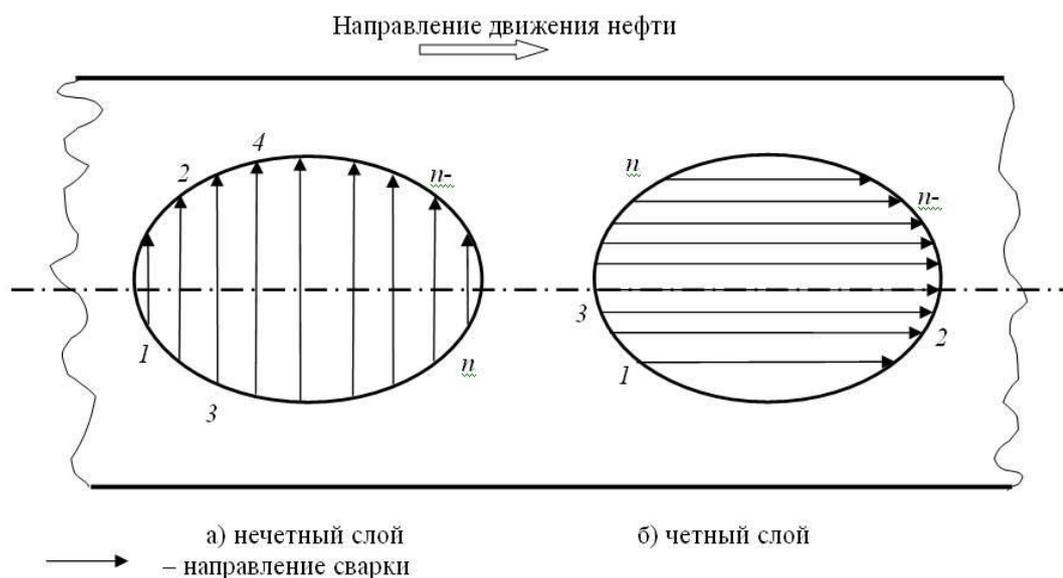


Рисунок 14 – Порядок наложения валиков четных и нечетных слоев шва

Таблица 2 – Параметры режима сварки при заполнении ремонтной выборки

«Слой шва	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, мм/с
Первый	3,0; 3,2 (2,5; 2,6)	90 – 100 (70 – 80)	1,40 – 1,50 (1,25 – 1,40)
Заполняющие	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50
Контурный	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50
Облицовочный	3,0; 3,2	100 – 120	1,25 – 1,50» [15]

После выполнения восстановительной наплавки проводят механическую обработку наплавленного металла с применением шлифовальной машины и шлифовального круга. После обточки усиление наплавленного металла должно составлять 1...1,5 мм, как это показано на рисунке 15. Поверхность металла должна быть гладкой формы.

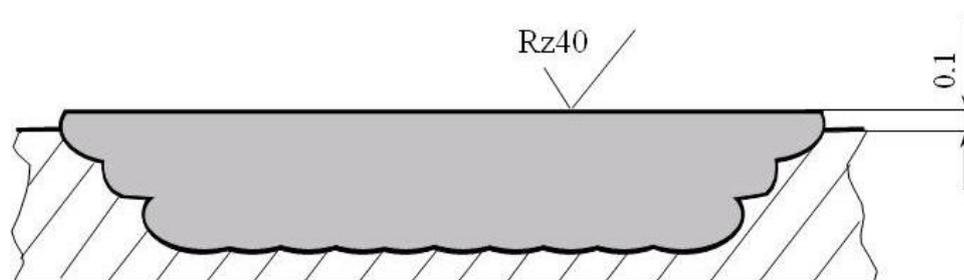


Рисунок 15 – Параметры механической обработки после наплавки

«Далее проводят контроль качества с применением визуального и ультразвукового контроля, а также контроля проникающими веществами. Проведение визуального контроля и контроля выполняется на участке, перекрывающем наплавленный металл во все стороны на 100 мм. Проведение ультразвукового контроля выполняется на участке, перекрывающем наплавленный металл во все стороны на 50 мм» [8].

В процессе визуального контроля и контроля проникающими веществами проверяют место ремонтной наплавки на наличие недопустимых дефектов, выходящих на поверхность. Таким дефектами являются ожоги металла, наплывы, свищи, плохо заваренные кратеры, поры и трещины (если они выходят на поверхность и могут быть обнаружены визуально), несплавления. Для визуального контроля применяется представленный на рисунке 16 набор, в состав которого входят «футляр для хранения, в котором помещены инструкция для проведения контроля, электрический фонарик, набор луп увеличением 3, 4, 7 и 10 крат без подсветки. Лупа увеличением 3,5 крат с подсветкой, электрический фонарик, металлическая линейка, штангенциркуль, универсальный шаблон сварщика, набор радиусных шаблонов, рулетка, маркер по металлу, набор щупов.

В процессе ультразвукового контроля проверяется отсутствие трещин всех видов и направлений, расслоений, шлаковых включений, подрезов и несплавлений, непроваров» [11]. Для ультразвукового контроля применяется представленный на рисунке 17 дефектоскоп Olympus NDT 1000i.



Рисунок 16 – Набор для проведения визуально-измерительного контроля



Рисунок 17 – Ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT 1000i

В случае обнаружения недопустимых дефектов дефектное место следует вырубить и переварить с проведением контроля визуального и ультразвукового. Разрешается не более двух переварок дефектного места, так как большее количество циклов сварки приводит к ухудшению структуры основного металла и ухудшению эксплуатационных свойств изделия.

Базовая технология сборки и сварки предполагает применение ручной дуговой сварки покрытыми электродами, применение которой характеризуется недостатками, отмеченными исследователями и авторами ряда работ [4], [14].

В настоящее время недостатки, присущие ручной дуговой сварки, не устраняются полностью, носят критичный характер и становятся причиной повсеместного внедрения механизированных и автоматических способов сварки, что отмечается рядом отечественных и зарубежных аналитиков [16], [17]. При этом, в зависимости от особенностей развития сварочных технологий в различных частях мира предпочтение отдается либо сварке порошковой проволокой, либо сварке в защитных газах проволокой сплошного сечения. Повышение экономических показателей рассматриваемого производства также требует применения перспективных способов сварки с использованием современных достижений в области управления процессами сварки и сварочных материалов.

## **1.4 Анализ содержания источников научно-технической информации**

С целью повышения эффективности рассматриваемой технологии ремонтной сварки магистральных трубопроводов следует применять научно-обоснованные методы, требующие проведения изыскательских работ в двух направлениях. Первое направление предусматривает расширение технологических возможностей традиционных способов сварки. Второе направление предусматривает поиск и расширение области применения перспективных новых и способов. Литературный поиск проводим в сети ИНТЕРНЕТ, для чего в качестве ключевых слов используем «сварка трубопроводов», «повышение качества сварки», «диссертация», «ремонт трубопроводов». Эффективный поиск может быть проведен при использовании таких информационных систем, как «Диссеркет» (содержит значительное количество кандидатских и докторских диссертаций, защищенных по техническим наукам в Российской Федерации), «Киберленинка» (содержит значительное количество публикаций по техническим направлениям, позволяет вести поиск по типу публикации и рейтингу журнала), «ПатонПаблиш» (содержит значительное количество публикаций в области сварки, результаты исследований в Украине), «Е-Лайбрери» (российская база знаний, позволяет вести поиск по автору и названию журнала). Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам.

Первая рассмотренная работа [20] представлены результаты изучения вопроса возможности применения минерального Уральского региона для «изготовления порошковой проволоки. Установлено, что с использованием отечественных технологий и материалов удастся получить порошковую проволоку для сварки в защитных газах и порошковую самозащитную

проволоку с показателями не хуже, чем у аналогичных сварочных материалов иностранного производства» [20].

Результаты этой работы будут использованы при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии и свидетельствуют в пользу выбора сварки порошковыми проволоками.

Во второй работе [5] на основании проведенных исследований предлагается компьютерная модель, позволяющая моделировать и описывать образование неметаллических включений в сварных швах магистральных трубопроводов на этапе строительства трубопровода. Предлагаемые решения позволяют прогнозировать свойства соединений в зависимости от особенностей технологических операций на этапе строительства трубопровода и прогнозировать его поведение в ходе длительной эксплуатации. Результаты работы будут применены при обосновании актуальности выбранного направления исследования и при составлении проектной технологии.

В третьей работе [26] проведено математическое и физическое моделирование при оценке ресурса магистральных трубопроводов, участки которых имеют поверхностные дефекты коррозионного происхождения. Установлено, что при помощи численных методов может быть оценен остаточный ресурс длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводов. Результаты этой работы применены при обосновании актуальности направления исследования и при построении проектной технологии.

В четвертой работе [14] «на основании проведенных исследований показана эффективность управления временными параметрами импульсного управления контактной сваркой с использованием математического моделирования. Входными параметрами модели являются физические характеристики материала и проволоки, параметры источника питания. Показано, что на характер переноса электродного металла существенно влияет постоянная времени сварочной цепи. Установка в сварочной цепи

управляемого дросселя позволяет эффективно управлять особенностями образования капли расплавленного металла и характера переноса» [14].

Данную работу применим для обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии.

В пятой работе [24] «доказана высокая перспективность импульсно-дуговых процессов при построении технологии сварки и ремонта металлических конструкций различного назначения. Применение импульсного режима существенно снижает испарение электродного металла, что, повышает энергоэффективность процесса сварки за счёт повышения эффективного КПД сварочного процесса. Кроме того, существенно снижается потеря электродного материала на разбрызгивание и угар» [24].

Результаты работы будут использованы для обоснования выбора способа сварки при возведении резервуара и для построения проектной технологии ремонтной сварки, если будет принято решение применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Таким образом, для построения проектной технологии на основании проведенного анализа источников научно-технической информации и знаний, полученных в ходе обучения на кафедре сварки, могут быть выбраны несколько способов сварки для последующего детального анализа. «Первым способом является применяющаяся в базовой технологии ручная дуговая сварка. Вторым способом является сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, этот способ позволяет существенно повысить производительность и качество сварки по сравнению с ранее применявшейся ручной дуговой сваркой. Третьим способом является сварка порошковой проволокой в защитных газах, который позволяет существенно расширить возможности по легированию сварного шва. Четвертым способом является сварка самозащитной проволокой, универсальность которой выше, чем сварка в защитных газах. Пятым способом является автоматическая сварка под флюсом, имеющая самую высокую производительность из рассматриваемых» [21].

## 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Выполняемая выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности выполнения сварочных операций при исправлении коррозионных дефектов на магистральных трубопроводах, в качестве предмета исследования выбран магистральный нефтепровод ВСТО. При выполнении введения показана актуальность выбранного направления исследования, обоснован выбор объекта исследования и предмета исследования. На основании анализа базового технологического процесса, который осуществляется с применением ручной дуговой сварки, составлены недостатки, препятствующие достижению поставленной цели, устранение которых позволит получить желаемый технический результат. В ходе обзора источников научно-технической информации, для построения проектной технологии выбрано пять способов сварки, которые должны быть рассмотрены на предмет целесообразности применения с учетом экспертной оценки, которая должна быть выставлена на основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа. Таким образом, сформулированы задачи выпускной квалификационной работы. «Первая задача заключается в обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии. Вторая задача заключается в расширении технологических возможностей выбранного способа за счёт применения разработок российских исследователей-сварщиков. Третья задача предусматривает составление проектной технологии ремонтной сварки, в ходе решения которой необходимо привести перечень операций технологического процесса, назначить технологические условия их выполнения, параметры режима, оборудование и материалы. Далее при выполнении оценочных разделов предстоит рассмотреть вопросы обеспечения экологической безопасности и безопасности труда при реализации предлагаемых технических решений» [1], [6]. Также следует выполнить оценку экономической эффективности на основании сравнения показателей базового и проектного вариантов [12], [13].

## 2 Проектная технология ремонтной наплавки при исправлении коррозионных дефектов магистрального нефтепровода

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки

Для выполнения восстановительной наплавки труб из стали 10Г2ФБ могут применяться все рациональные способы сварки, так как рассматриваемая сталь не имеет ограничений по свариваемости. Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки, схема выполнения которой представлена на рисунке 18. «Этот способ сварки продолжает занимать лидирующее положение при сварке и наплавке металлических конструкций, так как обладает высокой универсальностью и мобильностью. Применение ручной дуговой сварки возможно во всех пространственных положениях, в процессе выполнения сварки и наплавки возможно визуальное наблюдение за формированием наплавленного металла. Так как необходимое сварочное оборудование и персонал необходимой квалификации уже имеется на предприятии, для внедрения технологического процесса на базе ручной дуговой сварки и наплавки требуются минимальные капитальные вложения. Однако недостатки ручной дуговой сварки и наплавки, которые были указаны в предыдущем разделе, делают необходимым замену этого способа на более перспективные, что позволяет повысить производительность и качество выполнения сварочных и наплавочных работ» [15].

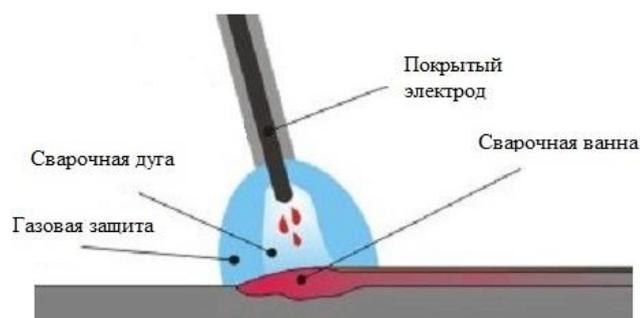


Рисунок 18 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

Самая высокая производительность сварки и наплавки из рассматриваемых способов достигается при автоматической сварке под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 19. Наплавленный слой может иметь толщину 10...20 мм, что выгодно отличает этот способ от ручной дуговой наплавки. Так как легирование наплавленного металла может выполняться через проволоку и через флюс, расширяются возможности для управления составом и свойствами наплавленного металла, а стоимость сварочных материалов по сравнению со штучными электродами резко снижается. При использовании автоматической сварки под флюсом устраняется проблема разбрызгивания электродного металла и существенно улучшаются условия труда сварщика, так как горение дуги проходит под слоем насыпанного флюса. Также следует отметить улучшение защиты расплавленного металла по сравнению со сваркой в защитных газах и ручной дуговой сваркой, что положительно сказывается на внедряемости способа при строительстве и ремонте металлических конструкций в сложных условиях. Недостатком сварки и наплавки под флюсом является значительное термическое влияние на основной металл и осыпание флюса, с которым приходится считаться при выполнении ремонтной наплавки в различных пространственных положениях. Также следует указать на сложность наблюдения за формированием наплавочных валиков, закрытых слоем флюса.

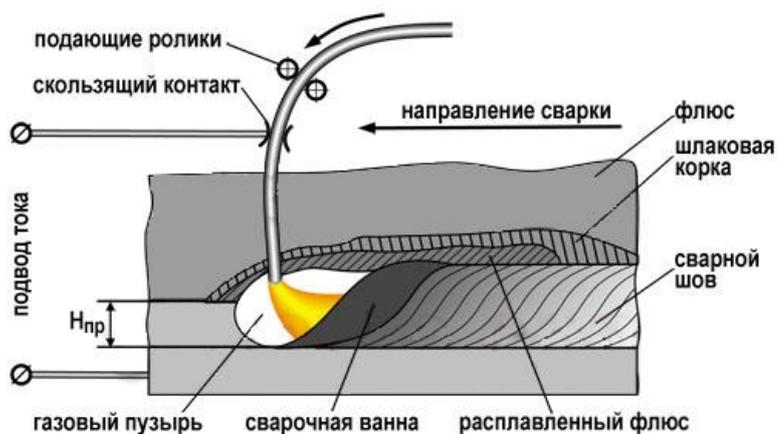


Рисунок 19 – Схема выполнения сварки под флюсом

«Сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 20, позволяет повысить эффективность сварочных и наплавочных работ по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке в защитных газах образуется незначительное количество шлаковой корки, которое не оказывает влияния на качество сварки и наплавки при выполнении многопроходных швов. Расплавленный металл обладает повышенной вязкостью, что упрощает ведение сварки и наплавки в различных пространственных положениях. Также следует отметить, что отсутствие шлаковой корки и задымления, что наблюдается при ручной сварке, позволяет вести наблюдение за формированием сварочной ванны» [2], что в конечном итоге положительно сказывается на качестве сварки и наплавки. Следует отметить недостатки сварки в защитных газах. Во-первых, повышенное разбрызгивание затрудняет применение форсированных режимов и снижает производительность. Кроме того, необходимость очистки поверхности изделия от брызг расплавленного металла также затрудняет сварку. Низкая текучесть расплавленного металла может стать причиной наплывов и несплошностей в наплавленном металле. Кроме того, ускоренное остывание и кристаллизация сварочной ванны повышает опасность возникновения пор в наплавленном металле из-за затрудненного выделения растворенных в сварочной ванне газов. Повышенная твердость наплавленного металла может стать причиной ухудшения эксплуатационных свойств изделия.

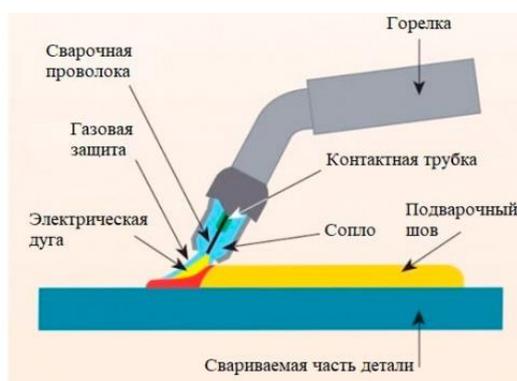


Рисунок 20 – Схема сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Применение сварки порошковой самозащитной проволокой, схема выполнения которой представлена на рисунке 21, позволяет сочетать положительные особенности сварки в защитных газах и сварки под флюсом. Легирование металла сварного шва за счёт шихты сварочной проволоки расширяет возможности по управлению составом наплавленного металла по сравнению с применением проволоки сплошного сечения, когда для изменения состава проволоки требуется вносить изменения в технологию производства проволоки. При сварке самозащитными проволоками по сравнению со сваркой проволоками сплошного сечения существенно улучшается защита зоны сварки, что позволяет вести сварку и наплавку на открытом воздухе. Производительность сварки и качество наплавленного металла при применении порошковых проволок выше, чем при сварке проволоками сплошного сечения. Однако следует указать недостатки сварки и наплавки порошковыми проволоками. Во-первых, неравномерное плавление проволоки по сечению приводит к просыпанию части нерасплавившегося флюса в сварочную ванну, что становится причиной шлаковых включений и пор в наплавленном слое. Кроме того, высокая текучесть шлака повышает требования к выполнению подготовительных работ.



Рисунок 21 – Схема выполнения сварки самозащитной порошковой проволокой

Критериями для выбора способа сварки и наплавки при составлении проектной технологии выступают [25], [26] мобильность способа, предусматривающая возможность проведения работ в полевых условиях; качества соединения, что является немаловажным критерием при ремонте такой ответственной конструкции, как магистральный трубопровод; условия труда сварщика, что позволяет обеспечить приемлемые условия и безопасность труда; стоимость оборудования, что обеспечивает оперативность внедрения и изменения технологических процессов на производстве; производительность выполнения работ, что влияет на количество применяемых единиц оборудования и экономические показатели производства, определяя эффективность внедрения предлагаемых технологических решений.

На основании вышеизложенного построение проектной технологии ремонтной наплавки магистральных трубопроводов предлагается вести с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Для повышения экономических показателей предприятия необходимо предусмотреть мероприятия по расширению технологических возможностей выбранного способа сварки. Для этого в дальнейшей части выпускной квалификационной работы предлагается рассмотреть решения, предлагаемые зарубежными и отечественными исследователями-сварщиками в области управления сварочными процессами и внедрить в производство способ сварки, опирающийся на достижения отечественных разработчиков сварочного оборудования.

В частности, необходимо устранить разбрызгивание при сварке в защитных газах, улучшить условия выделения растворенных в сварочной ванне газов, повысить пластичность наплавленного металла, повысить текучесть расплавленного металла, стабилизировать пространственное положение сварочной дуги.

## 2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

А настоящее время мировым производителем сварочного оборудования представлены на рынке различные сварочные сточки, реализующие многочисленные результаты исследовательских разработок в области управления сварочной дугой, которые позволяют значительно расширить технологические возможности сварки в защитных газах. Импульсное управление электрическими параметрами сварочной дуги обеспечивает возможность оптимизации условий переноса электродного металла, при котором устраняется разбрызгивание металла и улучшается формирование сварного шва, существенно повышается пространственная стабильность сварочной дуги, что улучшает показатели сварного соединения и упрощает проведение сварки во всех пространственных положениях. На рисунке 22 представлены различные типы сварочной дуги, которые могут быть получены в зависимости от условий питания. Размер капель электродного металла, частота и стабильность их перехода в сварочную ванну в значительной мере определяется именно типом сварочной дуги.

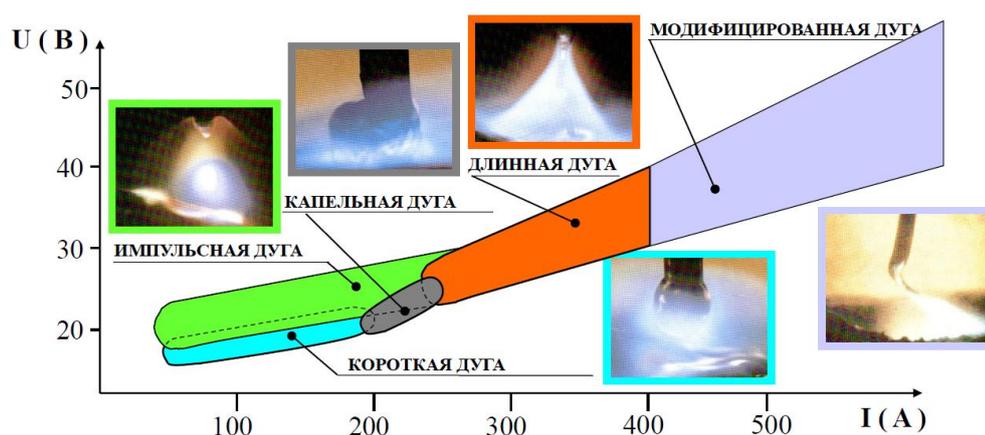


Рисунок 22 – Различные типы сварочной дуги в зависимости от питания

Оптимальный режим питания сварочной дуги может быть получен при использовании транзисторного управления, позволяющего задавать

импульсный характер горения дуги с высокой частотой, позволяющей отследить состояние капли электродного металла и задать оптимальные условия её перехода в сварочную ванну. На рисунке 23 показан принцип импульсного управления плавлением электродного металла.

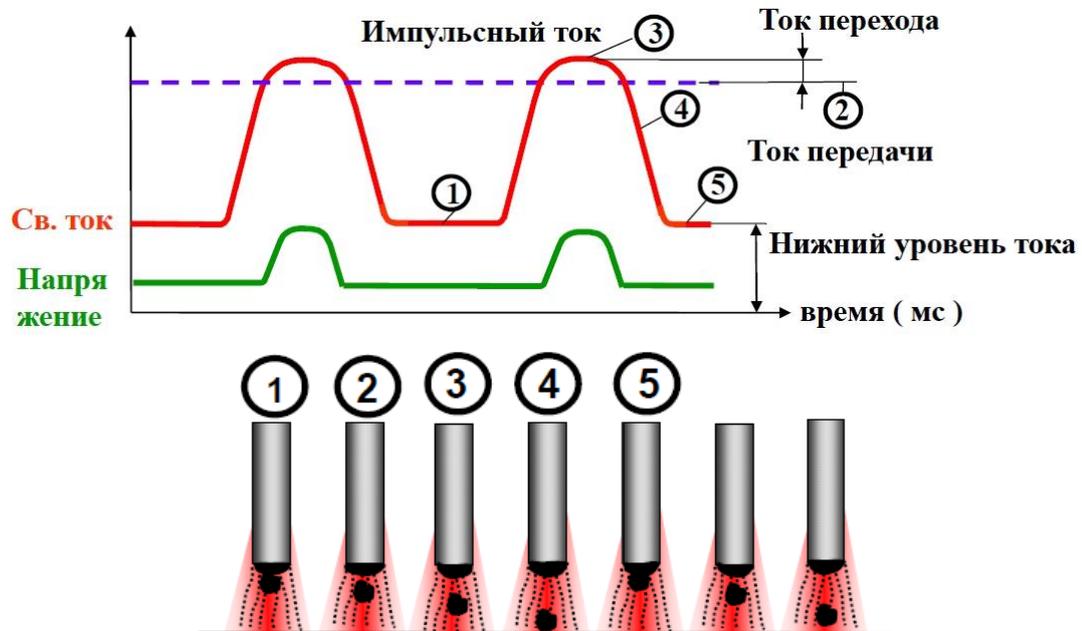


Рисунок 23 – Принцип импульсной сварки

В результате наблюдается устранение разбрызгивания электродного металла, так как начало формирования и перехода в сварочную ванну капли расплавленного металла происходит на пониженном токе, что позволяет капли принять соосное с электродом положение. Окончание же перехода капли электродного металла в сварочную ванну характеризуется повышенными значениями тока, что ускоряет процесс перехода металла в сварочную ванну и оказывает силовое воздействие на её поверхность.

Так как значительно снижается разбрызгивание и испарение электродного металла, тепловой баланс при сварке также изменяется, так как значительно уменьшаются потери тепла в окружающую среду. В результате удастся получить не только улучшение внешнего вида соединения за счёт отсутствия брызг расплавленного металла, но и уменьшить затраты

электрической энергии при увеличении производительности сварки и наплавки.

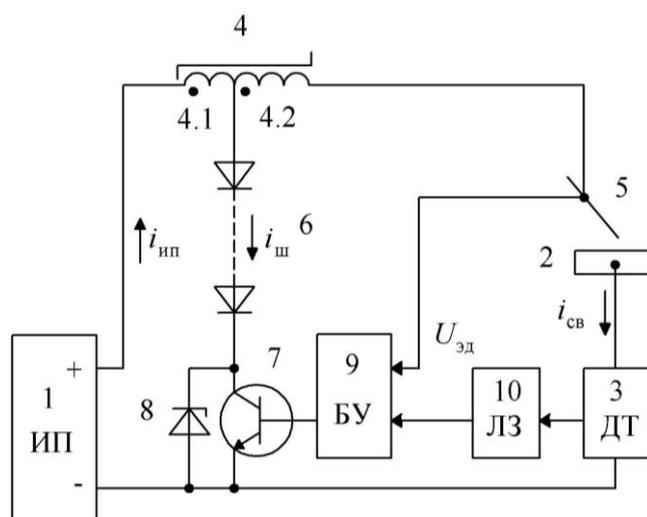
Переменное силовое воздействие сварочной дуги на поверхность сварочной ванны обеспечивает ускоренное выделение из расплавленного металла растворенных в нем газов, что устраняет проблемы пористости наплавленного металла. Кроме того, уменьшается размер зерна наплавленного металла, что способствует повышению прочностных и пластических свойств наплавленного металла.

Также следует отметить повышение пространственной стабильности сварочной дуги, что позволяет вести сварку во всех пространственных положениях. Также импульсный характер переноса электродного металла улучшает формирование сварного соединения и предотвращает образование несплавлений и непроваров.

В работах [27], [28] обосновано благотворное влияние добавок аргона в углекислый газ, применение такой защитной газовой смеси дополнительно снижает пористость наплавленного металла и обеспечивает его гладкую поверхность. При этом положительное влияние добавок аргона начинает сказываться уже при соотношении аргона к углекислому газу начиная от 5 к 20. В проектном процессе предлагается применить защитную газовую смесь, в составе которой содержится 10 % аргона и 90 % углекислого газа.

Для повышения эффективности сварочной дуги предлагается применить предложенную и запатентованную разработку российских исследователей-сварщиков [2], функциональная схема которой представлена на рисунке 24. Питание сварочной дуги предлагается осуществлять от стандартного сварочного выпрямителя ВДГ-303, характеризующегося жесткой вольтамперной характеристикой. При сварке применяют ток обратной полярности. Положительный полюс источника питания, который на функциональной схеме показан позицией 1, подключен к сварочной проволоке, которая на функциональной схеме показана позицией 5. Отрицательный полюс источника питания 1 подключен к изделию, которое

обозначено на функциональной схеме позицией 2. Датчик тока, который обозначен на функциональной схеме позицией 3, выполнен на основе бесконтактного датчика Холла.



«1 - источник питания (ИП); 2 - свариваемое изделие; 3 - датчик тока (ДТ); 4 - дроссель; 5 - сварочный электрод (проволока); 6 - блок диодов; 7 - транзистор; 8 - стабилитрон; 9 - блок управления (БУ); 10 - линия задержки (ЛЗ)» [2]

Рисунок 24 – Функциональная схема предлагаемого способа сварки

«Блок управления, который обозначен на схеме позицией 9, выполнен на базе полупроводниковых компараторов напряжения К554СА3 (LM311) и усилителя мощности IR2110. Блок управления 9 соединён с базой транзистора 7, параллельно которому подключен стабилитрон 8. Линия задержки, которая обозначена на схеме позицией 10, собрана на базе одновибратора CD4047. Дроссель, который обозначен на схеме позицией 4, имеет насыщающийся магнитопровод и секционированную обмотку, секции которой на схеме обозначены позициями 4.1 и 4.2. Подача тока на сварочный электрод, который обозначен на схеме позицией 5, происходит через блок управления 9 и обмотки дросселя 4. В схему включены последовательно установленные диоды, которые обозначены позицией 6» [2].

На рисунке 25 представлена кинограмма процесса переноса электродного металла, совмещенная с осциллограммами тока и напряжения, формируемыми при использовании предлагаемого источника питания.

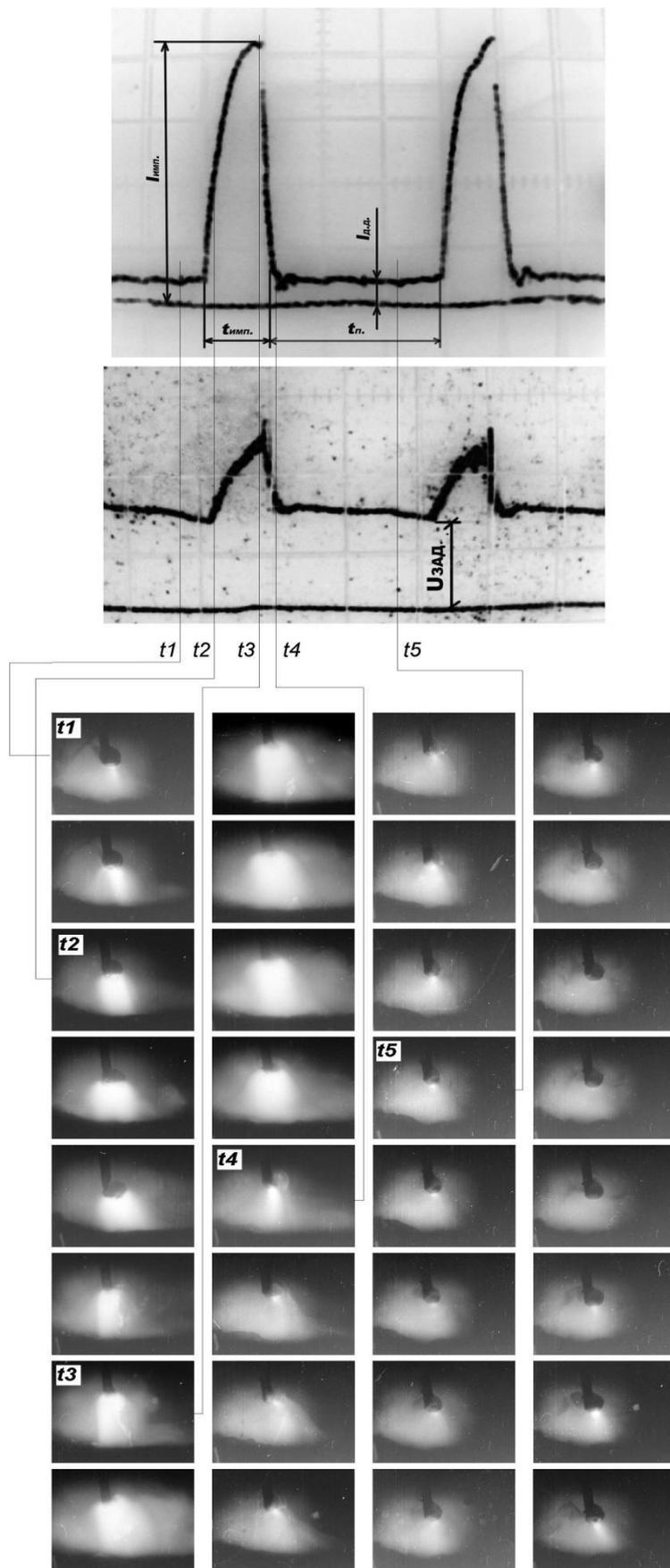


Рисунок 25 – «Совмещение осциллограмм сварки с кинокадрами процесса при импульсном управлении дугой» [2]

На осциллограммах процесса сварки с импульсным управлением, представленных на рисунке 25, можно выделить несколько характерных точек: « $t_1$  – конец паузы, протекает ток дежурной дуги, капля занимает соосное положение с электродом;  $t_2$  – момент начала включения тока импульса;  $t_3$  – перенос капли электродного металла, этот момент также фиксируется по всплеску напряжения на дуге;  $t_4$  – окончание протекания тока импульса, и завершено расплавление следующей капли, из-за большого давления дуги капля отжимается, и находится на боковой поверхности электрода;  $t_5$  – протекает ток дежурной дуги, и капля занимает соосное положение с электродом» [2].

На рисунке 26-а представлены баллоны с такой защитной газовой смесью, которые поступают на участок сварки. В качестве сварочной проволоки предлагается применить представленную на рисунке 26-б проволоку L-56 производства Lincoln Electric диаметром 1,14 мм, которая позволяет получать плотные швы с высокими эксплуатационными показателями.



Рисунок 26 – Применяемые в проектной технологии сварочные материалы: смесь защитных газов (а) и сварочная проволока (б)

Параметры режима сварки в зависимости от номера выполняемого слоя при восстановительной наплавке, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры режима сварки

Номер слоя	Ток сварки	Напряжение	Скорость сварки	Вылет эл-да	Расход газа
1	200...250 А	19...23 В	40...55 м/ч	9...12 мм	7...8 л/мин
2	180...220 А	18...21 В	35...50 м/ч	9...12 мм	7...8 л/мин
3	160...200 А	18...20 В	30...50 м/ч	8...12 мм	6...7 л/мин
4	130...170 А	18...20 В	30...50 м/ч	8...12 мм	6...7 л/мин
последующие	110...140 А	18...20 В	25...45 м/ч	8...12 мм	6...7 л/мин

Операции проектного технологического процесса за исключением операции сварки повторяются из базового технологического процесса, поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы повторяться не будут.

### **Выводы по второму разделу**

Дальнейшие работы по выполнению настоящей квалификационной работы предполагают проведение оценочных исследований, включающих идентификацию негативных производственных факторов при реализации предлагаемых технических решений, обеспечению безопасности труда и экологической безопасности производственного участка.

Также предстоит выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений, в ходе которого необходимо рассчитать экономические показатели производства с применением базовой технологии и проектной технологии [7], [22]. Далее на основании сравнительного анализа экономических показателей оценить эффективность внедрения проектной технологии при ремонтной сварке по исправлению коррозионных дефектов на магистральном нефтепроводе.

На основании выполнения оценочных разделов предстоит сделать заключение о целесообразности внедрения предлагаемых решений на предприятиях Российской Федерации и сформулировать направления дальнейших исследований, которые будут проведены при выполнении магистерской диссертации при обучении на кафедре сварки Тольяттинского государственного университета.

### **3 Трудовая и экологическая безопасность производственного участка**

#### **3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений**

В предыдущих разделах выпускной квалификационной работы выполнен анализ исходных данных и известных решений, постановка задач (первый раздел); на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки принято решение для построения проектной технологии применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, этот способ сварки улучшен за счёт разработки российских ученых в области управления горением дуги и переносом электродного металла, составлена проектная технология ремонтной сварки (второй раздел).

Настоящий раздел (третий раздел) выпускной квалификационной работы является оценочным и предусматривает выделение негативных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектного технологического процесса, которые могут оказать отрицательное влияние на персонал предприятия и окружающую среду. Кроме того, предлагается рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности производства, это объясняется тем, что процессы сварки с точки зрения возникновения пожара характеризуются повышенной опасностью. Для нейтрализации негативных производственных факторов предстоит предложить технические средства и организационные мероприятия.

В таблице 4 представлены особенности реализации проектного технологического процесса, которые позволяют выявить производственные объекты и участников, которые могут подвергнуться действию негативных производственных факторов. Данные для заполнения таблицы выбираются исходя из составленного в предыдущем разделе проектного технологического процесса.

Таблица 4 – Особенности реализации проектного технологического процесса

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
1. «Зачистка дефектного участка	слесарь-сборщик	машинка радиальная шлифовальная	круг абразивный
2. Предварительный подогрев	термист	резак газопламенный	смесь пропан-бутановая
3. Заварка дефекта	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- выпрямитель сварочный ВД-306Ш, - машинка радиальная шлифовальная	сварочные электроды
4. Механическая обработка	слесарь-сборщик	машинка радиальная шлифовальная	круг абразивный
5. Контроль качества» [9]	дефектоскопист по магнитному и ультразвуковому контролю	ультразвуковой дефектоскоп Olympus NDT EPOCH 1000i	масло

Данные таблицы 4 позволяют идентифицировать возникающие в процессе реализации проектной технологии негативные производственные факторы.

### 3.2 Профессиональные риски

Операции проектного технологического процесса, особенности которого представлены в таблице 4, характеризуются возникновением негативных производственных факторов. Действие этих факторов на персонал предприятия позволяет классифицировать их как опасные (вызывают резкое ухудшение состояния вплоть до гибели) и вредные (вызывают ухудшение самочувствия и здоровья в результате длительного воздействия).

В таблице 5 представлена информация о возникающих в ходе реализации проектной технологии опасных и вредных производственных факторах. Далее следует предложить технические средства и организационные мероприятия по их нейтрализации с применением стандартных решений.

Таблица 5 – Негативные производственные факторы проектной технологии

Операция	Негативный фактор
«Зачистка дефектного участка	«острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
Предварительный подогрев	повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги
Заварка дефекта	повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги инфракрасное излучение; ультрафиолетовое излучение
Механическая обработка	острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
Контроль качества» [9]	ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья: «острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования» [6]

Источниками негативных производственных факторов выступает применяемое сварочное оборудование и непосредственно открыто горящая сварочная дуга. Также источником негативных факторов выступает вспомогательное оборудование, в ходе эксплуатации которого возможно получение травм. При оценке негативных факторов следует учитывать повышение их опасности при совместном действии нескольких факторов и кумулятивный эффект при длительном действии факторов.

### 3.3 Устранение профессиональных рисков

Ранее составленный перечень негативных производственных факторов, оказывающих влияние на персонал предприятия в ходе реализации проектного технологического процесса, заставляет применять технические средства и организационные мероприятия, направленные на нейтрализацию опасного и вредного действия на персонал. В таблице 6 представлены предлагаемые средства по обеспечению производственной безопасности, реализация которых предусматривает применение стандартных средств и методик из арсенала современного промышленного предприятия.

Таблица 6 – Средства и мероприятия по обеспечению безопасности труда

«Негативный фактор»	Техническое решение	Средства защиты
острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	проведение инструктажа по технике безопасности; ролевые игры с работниками предприятия; предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	предупреждающие плакаты и таблички; защитное отключение приводов оборудования; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	общеобменная вентиляция; устройства удаления загрязненного воздуха	Применение индивидуальных средств защиты органов дыхания
повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	проверка изоляции и заземления; проведение инструктажа по технике безопасности; ролевые игры с работниками предприятия	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	проведение инструктажа по технике безопасности; предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, перчатками
инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	защитные экраны; проведение инструктажа по технике безопасности; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками
ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	защитные экраны; проведение инструктажа по технике безопасности; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками» [6]

Значительное внимание при построении технологического процесса следует уделять трудовой дисциплине и соблюдению порядка на рабочем месте. Многолетняя практика показывает, что именно захламление рабочего места становится главной причиной травматизма, возникновения внештатных ситуаций и снижения качества выпускаемой продукции. Как следует из анализа выявленных опасных и вредных производственных факторов, они являются стандартным набором, сопровождающим реализацию технологических процессов на современном предприятии, нейтрализация которого не должна встретить значительных затруднений. Разработка специальных технических средств и методик для обеспечения безопасности труда не требуется.

### **3.4 Пожарная безопасность предприятия**

Применение сварочных технологий представляет угрозу с точки зрения пожарной безопасности, так как открыто горящая дуга имеет высокую температуру, излучает ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, становится источником брызг расплавленного металла и нагрева кромок детали, от контакта с которыми возможно возгорание предметов. Питание сварочной дуги происходит от источников, к которым осуществляется подвод тока высокой мощности. Поэтому нарушение в работе силовой аппаратуры предприятия также становится причиной возникновения пожаров. В таблице 7 представлена информация по классификации пожара, возникновение которого возможно на рассматриваемом производственном участке. Представленные данные позволяют отнести пожар к классу «Е», поскольку при его возникновении на всем этапе протекания и тушения сохраняется высокая опасность поражения электрическим током. В случае пожара люди могут подвергнуться потоку раскаленного воздуха, испытать снижение концентрации кислорода, подвергнуться инфракрасному излучению, действию открытого пламени, отравляющему действию продуктов горения.

Также при пожаре ухудшается видимость и возможно обрушение конструкций, что препятствует эвакуации персонала и тушению пожара. В ходе пожара может происходить нарушение электрической изоляции, что может стать причиной травм. В таблице 8 представлены средства, обеспечивающие пожарную безопасность на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 7 – Идентификация опасных факторов при пожаре

Участок	Участок сборки и сварки
«Наименование оборудования»	Оборудование для подготовки, сборки и сварки, аппаратура контроля
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» [6]

Таблица 8 – Средства тушения пожаров на производственном участке

«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
Пожарная сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [6]

Пожарная безопасность производственного участка обеспечивается стандартными средствами и технологическими мероприятиями.

### 3.5 Экологическая безопасность производственного участка

Современное производство характеризуется не только применением прогрессивных процессов, позволяющих повысить экономические и технологические показатели. В мировую повестку включены вопросы энергосбережения, что заставляет ужесточать требования к безопасности для природы технологического процесса. Сварочное производство характеризуется негативным действием на природные составляющие – гидросферу, литосферу и атмосферу. Защита природы от антропогенного действия со стороны рассматриваемого производственного участка обеспечивается рядом мероприятий, представленных в таблице 9.

Таблица 9 – Защита природы от антропогенного действия предприятия

Наименование 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» [6]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [6]
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» [6]

Особое внимание следует уделить селективному сбору мусора, которое не требует значительных капитальных вложений и применения сложных технических устройств, но позволяет существенно уменьшить негативное действие предприятия на окружающую среду. Кроме того, селективный сбор мусора позволяет повысить культуру производства, что в конечном итоге положительно скажется на качестве выпускаемой продукции и условиях труда персонала. Помимо этого возможно снижение затрат предприятия из-за возможности рециклинга промышленных отходов.

## Выводы по экологическому разделу

В экологическом разделе выпускной квалификационной работы необходимо показать возможность реализации предлагаемых в исполнительском разделе решений с точки зрения обеспечения безопасности труда и экологической безопасности.

По результатам анализа проектного технологического процесса проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникновение которых происходит на рассматриваемом производственном участке. Установлено, что нейтрализация негативных производственных факторов обеспечивается применением стандартных технических средств и методик из арсенала современного промышленного предприятия. Для защиты работников не требуется разработки специальных средств помимо предложенных в настоящем разделе стандартных решений.

В ходе выполнения настоящего раздела затронут вопрос обеспечения пожарной безопасности производственного участка, идентифицированы риски, возникающие в ходе пожара, предложены меры по обеспечению пожарной безопасности и тушению возникающих пожаров.

Также в экологическом разделе затронуты вопросы обеспечения экологической безопасности промышленного производства, предложен ряд мероприятий по соблюдению экологической ответственности участников технологического процесса и снижению антропогенного действия на окружающую среду.

Таким образом, можно заключить, что предлагаемые технические решения могут быть реализованы с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Негативное действие проектного технологического процесса на окружающую среду в должной мере может быть нейтрализовано с применением стандартных средств и методик.

## **4 Экономическая эффективность предлагаемых решений**

### **4.1 Вводные данные для экономического анализа**

В настоящей выпускной квалификационной работе описаны мероприятия, направленные на повышение эффективности ремонтной сварки при обслуживании стареющих магистральных трубопроводов. При выполнении аналитического раздела выпускной квалификационной работы представлены исходные данные и предварительный анализ известных решений, выполнена постановка задач. В исполнительском разделе на основании критического анализа известных решений обоснован выбор наиболее эффективного способа сварки. Также описываются решения, позволяющие расширить технологические возможности выбранного способа за счёт импульсного управления и модернизации сварочного источника, приведено описание операций. Анализ возможности реализации предлагаемых решений с соблюдением современных требований по технике безопасности, проведения противопожарных мероприятий и обеспечения экологичности производственного участка выполнены в третьем разделе. Настоящий раздел предназначен для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений на предприятии, для чего необходимо провести сравнительный анализ экономических показателей вариантов. Количественные показатели (исходные данные), которые будут использованы в ходе выполнения экономических расчётов, представлены в таблице 10. Значения коэффициентов, необходимых для расчётного определения показателей технологии, представлены в таблице 11. На основании представленных данных, показателей базовой и проектной технологии, предстоит оценить величину технологической, цеховой и заводской себестоимости в рассматриваемых вариантах, объём капитальных вложений и изменение экономических параметров с выходом на оценку годового экономического эффекта [13].

Таблица 10 – Количественные показатели для экономического анализа

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение (базовый вариант)	Значение (проектный вариант)
«Стоимость оборудования	$C_{об}$	руб.	80 тыс.	250 тыс.
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	12	20
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,85	0,85
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	20	20
Разряд работников	$P$	-	$V$	$V$
Часовая тарифная ставка	$C_ч$	Р/час	150	150
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	$(P/m^2)/год$	2000	2000
Цена производственных площадей» [13]	$C_{пл}$	$P/m^2$	30000	30000

Таблица 11 – Значения коэффициентов для проведения расчётов

Показатель	Обозн.	Единицы измерения	Значение
«Коэффициент доплат к осн. заработной плате	$K_{осн}$	%	12
Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{доп}$	-	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,03
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{тз}$	%	5
Цена электрической энергии для предприятия	$C_{ээ}$	Р/ кВт	3,2
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3 5
Норма амортизации площади	$H_{а.пл.}$	%	5
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5
Коэффициент эффективности капит. вложений	$E_n$	-	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5
Коэффициент заводских расходов» [13]	$K_{зав}$	-	1,15

В ходе внедрения в производство предлагаемых результатов по сравнению с базовым вариантом, происходит замена способа сварки с применением передовых достижений сварочной науки. Описываемые в исполнительском разделе решения обеспечивают повышение качества и производительности, что даже в условиях применения оборудования большей стоимости должно обеспечить получение экономического эффекта, значение которого будет рассчитано в ходе выполнения настоящего раздела.

## 4.2 Фонд времени работы оборудования

При расчете параметров, при помощи которых может быть оценена экономическая эффективность производства, в большинстве формул применяется значение эффективного фонда времени работы оборудования  $F_3$ . Этот параметр измеряется в часах и пропорционален количеству смен  $K_{см}$  в одном рабочем дне, которое в зависимости от особенностей производства может составлять  $K_{см}=1$  или  $K_{см}=2$ .

Также на величину  $F_3$  оказывает влияние принимаемое количество рабочих дней в году  $D_p$ , которое в настоящий момент принимается равным « $D_p=277$ . Количество предпраздничных рабочих дней составляет  $D_{п}=7$  дней, в эти дни продолжительность рабочей смены уменьшается на  $T_{п}=1$  час. Во всех остальных случаях продолжительность рабочей смены  $T_{см}=8$  часов. Таким образом,  $F_n$  будет с учётом приведенной информации и исходных значений рассчитываться как» [13]

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

Эффективный фонд времени  $F_3$  отличается от номинального  $F_n$  в меньшую сторону, что объясняется возникновением в процессе работы производственного участка внештатных ситуаций и случаев нарушения трудовой дисциплины. Это характеризуется коэффициентом потерь рабочего времени, который для рассматриваемой технологии составляет  $B = 7 \%$ . С учётом этого

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

Таким образом, расчёты проводим с величиной  $F_3 = 2054$  часов. Эта же величина будет «использована для расчётного определения экономических показателей при сопоставительном анализе рассматриваемых вариантов технологии» [13].

### 4.3 Штучное время и годовая программа

Для расчётного определения экономических показателей, характеризующих анализируемый технологический процесс, следует задаться штучным временем  $t_{шт}$ , которое затрачивается на изготовление или ремонт одного изделия. Для этого необходимо провести анализ особенностей выполнения операций в обоих рассматриваемых вариантах построения технологии, которые могут быть взяты из первого раздела (для базового варианта) и второго раздела (для проектного варианта). Главной составляющей штучного времени служит машинное время  $t_{маш}$ , значение которого определяется исходя из особенностей рассматриваемой технологии. Базовый вариант характеризуется  $t_{маш}=6,6$  часов, проектный вариант характеризуется  $t_{маш}=2,5$  часов. Также в состав штучного времени включено вспомогательное время  $t_{всп}$  в размере 10 % от  $t_{маш}$ . В случае реализации базовой технологии  $t_{всп}=0,66$  часов, в случае реализации проектной технологии  $t_{всп}=0,25$  часа. Приблизительно 5 % от  $t_{маш}$  затрачивается на обслуживание рабочего места, что характеризуется переменной  $t_{обсл}$ . Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, принимается  $t_{обсл}=0,33$  часов. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант технологии, следует принимать  $t_{обсл}=0,12$  часа. Приблизительно 5 % от  $t_{маш}$  затрачивается на личный отдых работника, что характеризуется переменной  $t_{отд}$ . Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, следует принимать  $t_{отд}=0,33$  часа. При реализации на производственном участке проектного варианта принимают  $t_{отд}=0,12$  часа. Приблизительно 1% от  $t_{маш}$  затрачивается работником на изучение и сдачу производственного задания, что характеризуется значением подготовительно-заключительного времени  $t_{пз}$ . В зависимости от реализуемого на производственном участке варианта технологии  $t_{пз}=0,07$  часа для базового варианта и  $t_{пз}=0,03$  часа для проектного варианта.

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

На основании исходных данных последующие расчёты проводим при  $t_{шт}=8$  часов при базовом варианте. При проектном варианте последующие расчёты выполняем исходя из значения штучного времени  $t_{шт}=3$  часа.

Годовая программа  $\Pi_{Г}$  определяет количество изделий, которое предстоит выпустить в течение одного календарного года и определяет значения коэффициентов загрузки оборудования, который в дальнейшем будут использованы для расчётного определения экономических показателей базового и проектного вариантов. Величина годовой программы  $\Pi_{Г}$  определяется с учётом ранее полученных значений  $F_3$  и  $t_{шт}$

$$\Pi_{Г} = F_3 / t_{шт}. \quad (4)$$

«Таким образом, для базового варианта  $\Pi_{Г}= 2054/8 = 256$  дефектов, для проектного варианта  $\Pi_{Г}=2054/3=668$  дефектов. Для обеспечения действительной потребности производства» [13] необходимо значение годовой программы  $\Pi_{Г}=200$  дефектов, которое и принимаем для обоих вариантов технологического процесса.

Для задания количества применяемых на производственном участке единиц технологического оборудования необходимо определить его расчётное значение  $n_{расч}$ , для чего в качестве исходных данных служат ранее полученные значения годовой программы  $\Pi_{Г}$ , эффективного фонда времени  $F_3$  и штучного времени  $t_{шт}$ . Также в расчётах применяется коэффициент выполнения нормы  $K_{вн}$ , его значение выбирается из таблицы исходных данных:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot \Pi_{Г} / (F_3 \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

Для базового варианта  $n_{расч.} = 8 \cdot 200 / (2054 \cdot 1,03) = 0,76$  Для проектного варианта  $n_{расч.} = 3 \cdot 200 / (2054 \cdot 1,03) = 0,28$ . Таким образом, для обоих

рассматриваемых вариантов принимается количество оборудования  $n=1$ , поэтому определим коэффициент загрузки

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

При реализации базового варианта технологического процесса коэффициент загрузки оборудования составляет  $K_3=0,76/1=0,76$ . При реализации проектного варианта коэффициент загрузки оборудования составляет  $K_3=0,28/1=0,28$ .

#### 4.4 Расчёт заводской себестоимости

Эффективность внедряемых в производство решений оценивается по изменению экономических показателей, в большинство из которых в качестве расчётного компонента входит заводская себестоимость  $C_{\text{зав}}$ , определяемая расчётным путем через технологическую себестоимость  $C_{\text{тех}}$ . Величина технологической себестоимости может быть рассчитана с учётом особенностей выполнения операций, входящих в рассматриваемые варианты технологического процесса.

Одной из составляющих технологической себестоимости является стоимость материалов  $M$ , для расчёта которой применяется упрощенная формула, в которую помимо цены  $\Pi_m$  входят нормы расхода  $N_p$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого следует принимать из таблицы исходных данных принимается значение  $K_{\text{тз}}=1,05$ :

$$M = \Pi_m \cdot N_p \cdot K_{\text{тз}}. \quad (7)$$

Для принятых в настоящей работе исходных данных реализация базового технологического процесса предусматривает затраты на материалы в размере  $M=400 \cdot 5 \cdot 1,05=2100$  рублей. В проектном технологическом

процессе рассчитываемые затраты на материалы составляют  $M=(200 \cdot 4 + 7,5 \cdot 300) \cdot 1,05 = 3203$  рублей.

Расходы предприятия на оплату труда характеризуются фондом заработной платы ФЗП, составе которого учитываются два слагаемых, размер которых расчётным путём определяется исходя из «штучного времени  $t_{шт}$  и часовой тарифной ставки. Первое слагаемое - основная заработная плата  $Z_{осн}$ , второе слагаемое - дополнительная заработная плата  $Z_{доп}$ . Из таблицы исходных данных принимается значения коэффициентов доплат  $K_d$  и дополнительных доплат  $K_{доп}$ :  $K_d=1,88$  и  $K_{доп}=0,12$ . Размер основной заработной платы  $Z_{осн}$  используется» [13] в дальнейшем для определения цеховых и заводских затрат, с учётом исходных данных получаем

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

Реализация базового процесса предусматривает размер основной заработной платы  $Z_{осн}=8 \cdot 150 \cdot 1,88 = 2256$  рублей. Реализация проектного процесса предусматривает размер основной заработной платы составит  $Z_{осн}=3 \cdot 150 \cdot 1,88 = 846$  рублей. Уменьшение размеров заработной основной платы, которое наблюдается при внедрении проектной технологии не сказывается отрицательным образом на доходах работников, так как проектная технология позволяет значительно повысить производительность труда и уменьшить трудоемкость, в результате чего, за единицу времени с меньшими затратами удастся произвести больше продукции, что позволяет в пересчете на календарные дни доходы работников увеличить за счёт выполнения дополнительных работ и повышения экономических показателей производства.

Далее необходимо задаться размером дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$ , который рассчитывается как

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

Для базовой технологии основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}=2256$  рублей, поэтому размер дополнительной заработной платы с учётом коэффициента  $K_{\text{доп}}$  составляет  $Z_{\text{доп}}=2256 \cdot 12/100 = 271$  рублей. Для проектной технологии  $Z_{\text{осн}}=846$  рублей, поэтому с учётом коэффициента  $K_{\text{доп}}$  размер дополнительной заработной платы составляет  $Z_{\text{доп}}=846 \cdot 12/100 = 102$  рублей.

Суммирование основной заработной платы и дополнительной заработной платы, если на рассматриваемом производственном участке реализуется базовый вариант  $\text{ФЗП}=2256 + 271= 2527$  рублей. В случае, если на рассматриваемом производственном участке реализуется проектный вариант  $\text{ФЗП}=846 + 102 = 948$  рублей.

Отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  определяются исходя из значения фонда заработной платы  $\text{ФЗП}$  и принимаемого из таблицы исходных данных коэффициента отчислений  $K_{\text{сн}}$

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

При реализации на рассматриваемом производственном участке базовой технологии получаем  $O_{\text{сн}}=2527 \cdot 34/100 = 859$  рублей. При реализации на рассматриваемом производственном участке проектной технологии получаем  $O_{\text{сн}}=948 \cdot 34/100 = 322$  рублей.

Для того, чтобы вычислить величину амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  понадобится значение стоимости оборудования  $\text{Ц}_{\text{об}}$  из таблицы исходных данных. При реализации на производственном участке «базового варианта  $\text{Ц}_{\text{об}}=80000$  рублей. При реализации на производственном участке проектного варианта  $\text{Ц}_{\text{об}}=250000$  рублей. Также в качестве исходных данных служит машинное время  $t_{\text{маш}}$ , которое для базового и проектного варианта принимается соответственно» [13] как  $t_{\text{маш}}=8$  часов и  $t_{\text{маш}}=3$  часа. Для обоих вариантов технологии принимается ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени работы оборудования  $F_5=2054$  часа. Значение нормы амортизации  $N_a$  принимается из таблицы исходных данных  $N_a=21,5$  %. Таким образом, амортизационные отчисления рассчитываются как

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100} \quad (11)$$

и при реализации базового технологического процесса составляют с учётом исходных данных  $A_{об}=80000 \cdot 21,5 \cdot 8 / 2054 / 100 = 67$  рублей, при реализации проектного технологического процесса с учётом исходных данных амортизационные отчисления  $A_{об}=250000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 79$  рублей.

Ещё одной статьёй расходов, учитываемой при определении технологической и заводской себестоимости, является расходы на электрическую энергию  $P_{э}$ . Для расчётного определения понадобится цена на электрической энергии  $Ц_{эл}$ , которая из таблицы исходных данных принимается  $Ц_{эл}=3,2$  руб/кВт·ч. Установленное на производственном участке оборудование имеет КПД=0,7 для базового варианта и КПД=0,85 для проектного варианта. Установленная мощность оборудования при реализации базового варианта технологического процесса составляет  $M_{уст}=8$  кВт, установленная мощность оборудования при реализации проектного процесса составляет  $M_{уст}=10$  кВт. Таким образом, при использовании формулы

$$P_{э} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{эл} / \text{КПД} \quad (12)$$

для базового варианта технологического процесса получаем стоимость электрической энергии  $P_{э}=8 \cdot 8 \cdot 3,2 / 0,7 = 276$  рубля. При реализации проектного процесса расходы на электрическую энергию следует ожидать в размере  $P_{э}=10 \cdot 3 \cdot 3,02 / 0,85 = 107$  рубля. Как видно из представленных расчётов, при реализации проектной технологии ожидается снижение расходов на электрическую энергию, это может быть объяснено тем, что применяемый модернизированный сварочный процесс имеет больший коэффициент полезного действия по сравнению с применяемым в базовом варианте.

С учетом рассчитанных значений определяем затраты на оборудование  $Z_{об}$  при реализации рассматриваемых вариантов построения технологии

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

который при реализации базового технологического процесса принимаем значение  $Z_{об.} = 67 + 276 = 343$  рубля и при реализации проектного технологического процесса принимает значение  $Z_{об.} = 79 + 107 = 186$  рубля.

На основании рассчитанных величин составляющих технологической себестоимости может быть определена сама технологическая себестоимость суммированием

$$C_{тех} = M + \PhiЗП + Осн + Z_{об.} \quad (14)$$

Реализация базовой технологии характеризуется технологической стоимостью  $C_{тех} = 2100 + 2527 + 859 + 343 = 5829$  рубля. Реализация проектной технологии характеризуется технологической себестоимостью  $C_{тех} = 3203 + 948 + 322 + 186 = 4659$  рубля.

Для наглядного представления состава технологической себестоимости построены сравнительные диаграммы, представленные на рисунке 27.

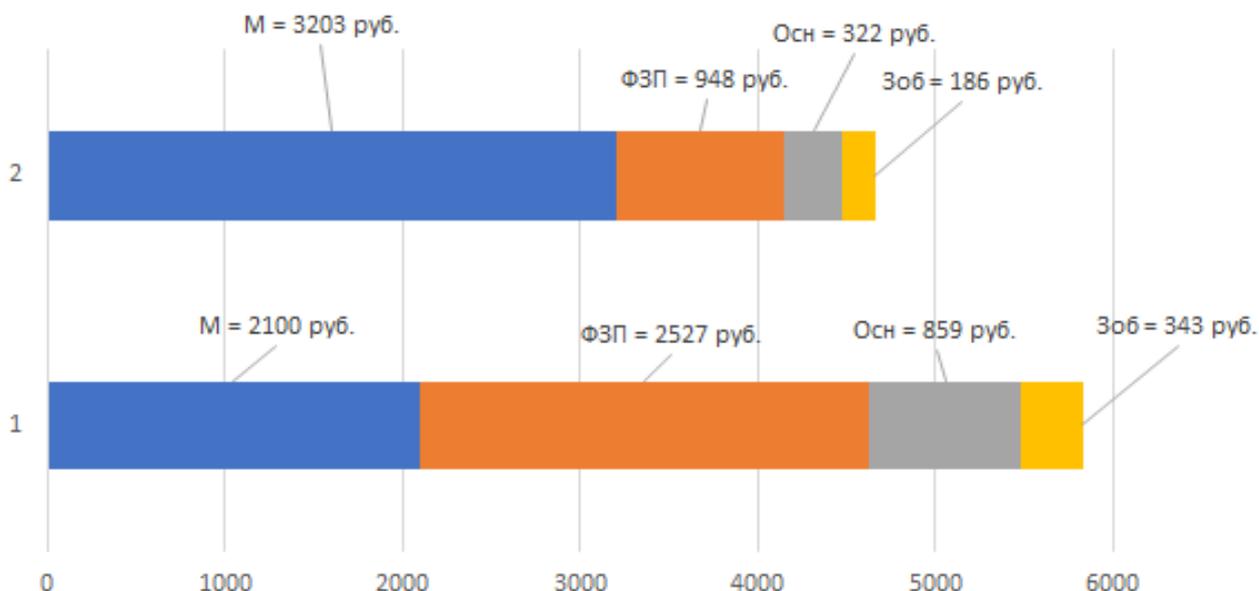


Рисунок 27 – Структура технологической себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологии

Структурные составляющие технологической себестоимости, расчёт которых выполнен ранее, представлены таким образом, что позволяют выполнить визуальное сравнение их величин по рассматриваемым вариантам построения технологического процесса. Следует ожидать значительного

уменьшения фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды, что должно положительно сказаться на экономических показателях производства при внедрении предлагаемых технологических решений.

Для того, чтобы рассчитать цеховую себестоимость  $C_{\text{цех}}$ , в качестве исходных данных в формулу подставляются значения технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , которое увеличивается с учётом цеховых расходов, определяемых через основную заработную плату  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициент цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ . Величина основной заработной платы определена ранее, а значение коэффициента цеховых расходов принимается из таблицы исходных данных

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

С учетом введенных данных для базового варианта получаем  $C_{\text{цех}}=5829 + 1,5 \cdot 2256 = 5829 + 3384 = 9213$  рубля. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант, размер цеховой себестоимости составит  $C_{\text{цех}}=4659 + 1,5 \cdot 846 = 4659 + 1269 = 5928$  рубля.

Для того, чтобы рассчитать заводскую себестоимость  $C_{\text{зав}}$ , в качестве исходных данных в формулу подставляются значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , которое увеличивается с учётом заводских расходов, определяемых через основную заработную плату  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициент заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ . Величина основной заработной платы определена ранее, а значение коэффициента заводских расходов принимается из таблицы исходных данных

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

При реализации базового варианта технологического процесса размер заводской себестоимости составит  $C_{\text{зав}}=9213 + 1,15 \cdot 2256 = 9213 + 2594 = 11807$  рубля. В случае реализации на производственном участке проектного процесса размер цеховой себестоимости составит  $C_{\text{цех}}= 5928 + 1,15 \cdot 846 = 5928 + 972 = 6900$  рубля. Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов технологии может быть выполнена с использованием сведенных в таблицу 12

данных по составляющим заводской себестоимости. Графическое представление состава заводской себестоимости по рассматриваемым вариантам, представленное на рисунке 28, позволяет выполнить сравнительный анализ каждой статьи расходов.

Таблица 12 – Расчёт заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы»	М	2100	3203
2. Фонд заработной платы	ФЗП	2527	948
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	859	322
4. Затраты на оборудование	Зоб	343	186
5. Технологическая себестоимость	С <sub>тех</sub>	5829	4659
6. Цеховые расходы	Р <sub>цех</sub>	3384	1269
7. Цеховая себестоимость	С <sub>цех</sub>	9213	5928
8. Заводские расходы	Р <sub>зав</sub>	2594	972
9. Заводская себестоимость» [13]	С <sub>зав</sub>	11807	6900

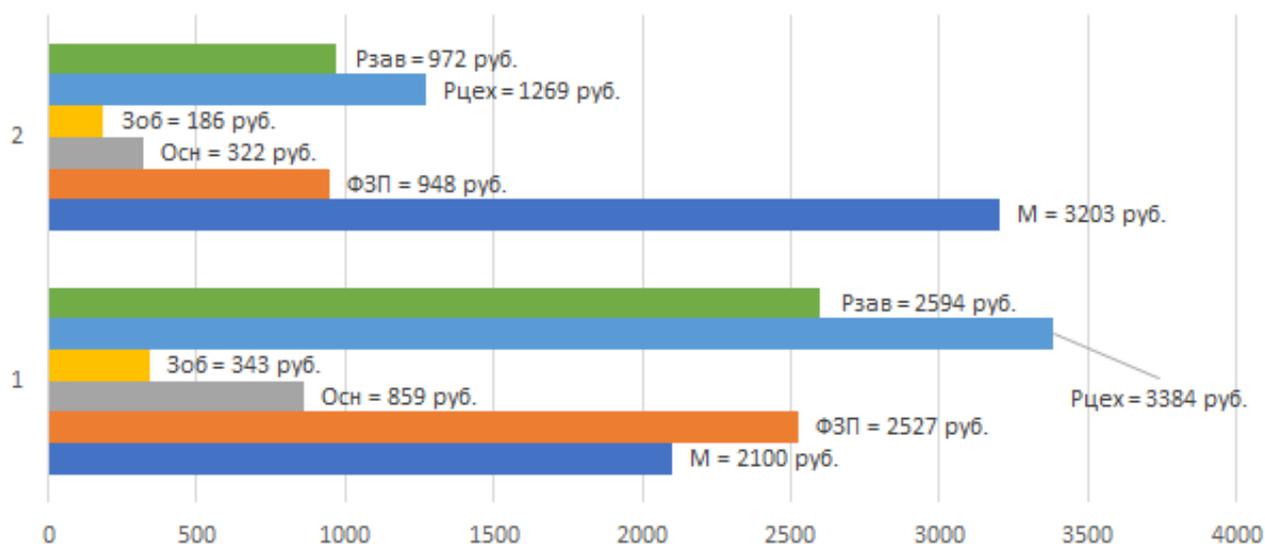


Рисунок 28 – Сравнительная диаграмма составляющих заводской себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологического процесса

Таким образом, проведенный графический анализ позволяет заключить, что применение предлагаемых в настоящей работе нововведений изменяет состав технологической себестоимости. Значительное количество статей расходов в проектной технологии меньше, чем аналогичные статьи расходов

в базовой технологии. Также следует отметить уменьшение размеров основной заработной платы, что положительно сказалось на размерах цеховых и заводских расходов, что, в конечном итоге, определило уменьшение заводской стоимости. Для окончательного расчёта показателей повышения экономической эффективности необходимо определиться со значением капитальных затрат, которые будут рассчитаны ниже.

#### 4.5 Капитальные затраты

При внедрении результатов выпускной квалификационной работы потребуется замена технологического оборудования, которое ранее эксплуатировалось на предприятии в течение срока службы  $T_{сл}=3$  лет. Цена оборудования по базовому варианту составляет  $C_{перв}=80000$  рублей. С учётом нормы амортизации  $H_a$  стоимость оборудования по базовому варианту может быть вычислена как

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

«Таким образом, остаточная стоимость оборудования, которое ранее применялось на предприятии для реализации базового технологического процесса, составляет  $C_{об.б.}=80000-(80000 \cdot 3 \cdot 21,5/100)=28400$  рублей.

Ранее для рассматриваемых вариантов технологии был выполнен расчёт коэффициента загрузки оборудования» [13]  $K_z$ , который позволяет оценить капитальные затраты по базовому варианту

$$K_{общ. б.} = C_{об.б.} \cdot K_{з.б} = 1 \cdot 28400 \cdot 0,76 = 21584 \text{ рублей.} \quad (18)$$

В случае, если на производственном участке реализуется проектная технология, капитальные затраты на оборудование  $K_{об.пр}$  вычисляются с использованием ранее определенного коэффициента загрузки оборудования  $K_z=0,1$ , принятого из таблицы исходных данных коэффициента транспортно-

заготовительных расходов  $K_{ТЗ}=1,05$  и цены оборудования  $Ц_{об.пр.}=250000$  рублей:

$$K_{об.пр.} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{ТЗ} \cdot K_{зп}. \quad (19)$$

Получаем  $K_{об.пр.} = 250000 \cdot 1,05 \cdot 0,28 = 73000$  рублей.

При вычислении расходов  $P_{дем}$  на демонтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации базовой технологии, необходимо учесть цену оборудования  $Ц_{об.б}$  и коэффициента расходов на демонтаж  $K_{дем}$ , его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 80000 \cdot 0,05 = 4000 \text{ рублей.} \quad (20)$$

При вычислении расходов  $P_{мон}$  на монтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации проектной технологии, необходимо учесть цену оборудования  $Ц_{об.пр}$  и коэффициента расходов на монтаж  $K_{м}$ , его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м} = 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ рублей.} \quad (21)$$

С учётом полученных результатов расчета сопутствующие капитальные затраты  $K_{соп}$  составляют

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт} = 4000 + 12500 = 16500. \quad (22)$$

Капитальные затраты  $K_{общ.пр.}$  при организации производственного участка для выполнения проектной технологии могут быть рассчитаны как сумма капитальных затрат на оборудование  $K_{об.пр}$  и сопутствующих затрат  $K_{соп}$

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{соп.} = 73500 + 16500 = 90000 \text{ рублей} \quad (23)$$

Размер дополнительных капитальных затрат  $K_{доп}$  определяется как разность ранее рассчитанных капитальных затрат по рассматриваемым вариантам

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 90000 - 73500 = 16500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Исходными данными для расчёта удельных капитальных вложений  $K_{\text{уд}}$  служат дополнительные капитальные затраты  $K_{\text{доп}}$  и годовая программа  $\Pi_{\text{г}}$ , а самое значение  $K_{\text{уд}}$  определяется как отношение этих величин

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

Если на производственном участке реализуется базовая технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как  $K_{\text{уд}} = 73500/200 = 368$  рублей. Если на производственном участке реализуется проектная технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как  $K_{\text{уд}} = 90000/200 = 450$  рублей.

#### 4.6 Экономические показатели эффективности

Для того, чтобы оценить эффективность предлагаемых решений, реализацию которых предлагается выполнить на рассматриваемом производственном участке, следует рассчитать такие показатели, как «снижение трудоёмкости  $\Delta t_{\text{шт}}$ , повышение производительности труда  $\Pi_{\text{г}}$ , снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$ , условно годовую экономию  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ , срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$  и годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{г}}$ » [15].

При определении снижения трудоёмкости  $\Delta t_{\text{шт}}$  в качестве исходных данных следует принять ранее определенные значения штучного времени  $t_{\text{шт}}$  в базовом и проектном вариантах. На основании проведенных ранее расчётов в качестве исходных данных принимается  $t_{\text{шт б}} = 8$  часов и  $t_{\text{шт пр}} = 3$  часа для реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт б}} - t_{\text{шт пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт б}} = (8-3) \cdot 100 \% / 8 = 63 \% . \quad (26)$$

При определении повышения производительности труда  $\Pi_T$ , которое достигается на рассматриваемом производственном участке в случае внедрения предлагаемых решений используется рассчитанное ранее значение снижения трудоемкости  $\Delta t_{шт}$

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = (100 \cdot 63) / (100 - 63) = 233 \% \quad (27)$$

Для оценки снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$  необходимо в качестве исходных данных использовать рассчитанные ранее технологические себестоимости для случая реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии. В случае выполнения операция согласно базового варианта технологии принимается  $C_{тех.б} = 5829$  рубля. В случае выполнения операций согласно проектного варианта технологии принимается  $C_{тех.пр} = 4659$  рубля

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б} - C_{тех.пр}) \cdot 100\% / C_{тех.б} = (5829 - 4659) \cdot 100\% / 5829 = 20 \% \quad (28)$$

Для оценки размеров условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{уг}$  следует в качестве исходных данных принять ранее определенную годовую программу  $\Pi_T = 200$ . Условно-годовая экономия получается из разности заводских себестоимостей по рассматриваемым вариантам. В случае реализации на производственном участке базовой технологии принимается  $C_{зав.б} = 11807$  рубля. В случае реализации на производственном участке проектной технологии принимается  $C_{зав.пр} = 6900$  рубля

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot \Pi_T = (11807 - 6900) \cdot 200 = 981400 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Для расчётного определения срока окупаемости  $T_{ок}$  дополнительных капитальных вложений в качестве исходных данных следует принять ранее рассчитанные условно-годовую экономию  $\mathcal{E}_{уг}$  и дополнительные капитальные вложения  $K_{доп}$

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 90000 / 981400 = 0,1 \text{ года.} \quad (30)$$

В случае реализации на рассматриваемом производственном участке технологического процесса с внесенными изменениями совокупная экономическая эффективность оценивается по годовому экономическому эффекту  $\mathcal{E}_r$ . Для расчётного определения этой величины необходимо в качестве исходных данных принять ранее рассчитанную условно-годовую экономию  $\mathcal{E}_{yr}$  и ранее рассчитанную величину дополнительных капитальных вложений  $K_{доп}$ . Из таблицы исходных данных принимается значение нормативного коэффициента окупаемости затрат  $E_n$

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_{yr} - E_n \cdot K_{доп} = 981400 - 0,33 \cdot 90000 = 951700 \text{ рубля.} \quad (31)$$

На основании проведенных расчётов следует констатировать, что внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений позволяет получить повышение всех рассматриваемых в разделе экономических показателей, что положительно характеризует ценность предложенных решений.

Так как при реализации проектной технологии наблюдается значительное повышение производительности, то рассматриваемый производственный участок и находящееся на нем оборудование может быть использовано для выполнения аналогичных работ, что, в конечном итоге, позволит ещё больше повысить экономические показатели производства и сохранить размер фонда заработной платы без увеличения нагрузки на работников предприятия.

Кроме того, за счёт повышения производительности и снижения коэффициента загрузки оборудования предприятие может получить новые заказы, увеличивая годовую программу. В этом случае следует ожидать кратного уменьшения удельных капитальных вложений, роста ожидаемой экономии и годового экономического эффекта. Также следует принимать во внимание, что снижение трудоемкости позволяет не только повысить качество работ, но и уделить большее внимание экологической компоненте.

## Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе выполнено обоснование эффективности внедрения в современное производство предлагаемых решений. За счёт применения более прогрессивных методов ожидается снижение трудоёмкости на величину  $\Delta t_{шт} = 63 \%$  и повышение производительности труда на величину  $\Pi_T = 233 \%$ . Повышение производительности труда позволяет в значительной степени уменьшить фонд заработной платы и коэффициент загрузки оборудования, что положительно сказывается на большинстве рассчитываемых показателей эффективности технологии. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет  $\Delta C_{тех} = 20 \%$ . Происходит уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости, условно-годовая экономия ожидается в размере  $\mathcal{E}_{yt} = 0,98$  млн. рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений в размере  $K_{доп} = 90$  тысяч рублей, срок окупаемости которых составляет 0,1 года. При реализации предлагаемых изменений годовой экономический эффект ожидается в размере  $\mathcal{E}_T = 0,95$  млн. рублей. Вышеизложенное позволяет судить о целесообразности внедрения на современных предприятиях Российской Федерации предлагаемых решений, так как возникает не только технологический, но и экономический эффект. Кроме того, следует принимать во внимание, что экономический эффект будет мультиплицирован при внедрении предлагаемых решений на других предприятиях, выполняющих ремонт магистральных трубопроводов. Многократное повышение производительности труда позволяет рассматриваемому предприятию расширить область своих работ, принимая новые заказы, в том числе и с государственным финансированием, что позволяет дополнительно улучшить социальное обеспечение персонала предприятия и семей. Также следует учитывать возросшие возможности по ремонту трубопроводов, что позволяет наращивать их протяженность по стране и за границу.

## Заключение

Выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по поддержанию работоспособности магистральных трубопроводов. Перед современным производителем сварочных работ стоит задача наращивания скорости проведения ремонта магистральных трубопроводов, значительное количество которых в настоящее время находится в критическом состоянии. При этом в ходе дальнейшей эксплуатации сложившаяся ситуация будет только усугубляться. Анализ базовой технологии, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами, позволил сформулировать недостатки, устранение которых обеспечивает достижение поставленной во введении цели. В ходе анализа исходных данных и известных решений удалось выполнить постановку задач.

В ходе решения первой задачи на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обосновано применение сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, позволяющей обеспечить повышение эффективности предприятия. Полученный результат может быть перенесен на большинство предприятий, продолжающих при изготовлении сварных конструкций использовать ручную дуговую сварку. Данное решение находится в общем мировом тренде, так как по оценкам зарубежных и отечественных аналитиков ручная дуговая сварка повсеместно заменяется механизированными и автоматическими способами.

В ходе решения второй задачи предложено использовать модернизированный источник питания, использующий достижения российской науки в области управления сварочными процессами и переносом электродного металла. Такой источник питания может быть собран на базе стандартного сварочного выпрямителя и позволяет существенно расширить технологические возможности механизированной сварки. Полученный

результат может быть использован на целом ряде предприятий Российской Федерации.

В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология, которая может быть применена рядом организаций, ведущих работы по обслуживанию магистральных трубопроводов на территории Российской Федерации.

При выполнении экологического раздела показано, что предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми в разделе мероприятиями.

При выполнении экономического раздела проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Применение на производственном участке предлагаемых решений обеспечивает снижение трудоёмкости на 63 % и повышение производительности труда на величину 233 %. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет 20 %. Происходит уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости, условно-годовая экономия ожидается в размере около 1 млн. рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений, срок окупаемости которых составляет 0,1 года. При реализации предлагаемых изменений годовой экономический эффект ожидается в размере  $\Delta g = 0,95$  млн. рублей. Предлагаемые решения могут быть рекомендованы для внедрения на современных предприятиях Российской Федерации. Также следует принимать во внимание, что многократное повышение производительности труда, доказанное в работе, обеспечивает возможность наращивать протяженность магистральных трубопроводов без риска потери их работоспособности.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
2. Верёвкин А.А. Повышение эффективности сварки в CO<sub>2</sub> неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул : Томский политехнический университет. 2010.
3. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
4. Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: Издательский центр "Академия", 2006. 432 с.
5. Головкин, В.В. Моделирование состава неметаллических включений в металле сварных швов высокопрочных низколегированных сталей / В.В. Головкин // Автоматическая сварка. 2001. № 5. С. 3–7.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИИ, 2000. 68 с.
7. Занковец П. В., Шелег В. К. Математическое моделирование и автоматизация технологической подготовки производства сварных конструкций // Наука и техника. 2017. № 1. С. 5–15.
8. Ивакин А. В., Макаров Г. И. Нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО) – уникальный объект трубопроводного транспорта нефти // Территория Нефтегаз. 2007. № 5. С. 52–56.
9. Ильясова А. Х. Технология современной сварки деталей трубопровода // Экспозиция Нефть и газ. 2012. № 10. С. 26-29.
10. Корчемкин А. Е. Современное состояние сварки магистральных трубопроводов // Записки горного института. 2004. № 7. С. 175–177.

11. 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.

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

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

14. Лебедев В. А. Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке и наплавке // Сварочное производство. 2008. № 8. С. 11-14.

15. Лисин, Ю.В. Совершенствование методов подготовки и проведения капитального ремонта магистральных нефтепроводов: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва: АК «Транснефть». 1999.

16. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45-51.

17. Маковецкая О. К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных сварочных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54-61.

18. Матросов Ю. И. Разработка и технологический процесс производства трубных сталей в XXI веке // Сталь. 2001. № 4. С. 58-62.

19. Молодцов, Г.И. Разработка взрывных технологий для обслуживания и ремонта трубопроводов: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Уфа: Институт проблем транспорта энергоресурсов. 2001.

20. Наумов, С.В. Разработка шлаковой основы для сварочных материалов из минерального сырья Урала: Диссертация на соискание учёной

степени кандидата технических наук. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2014.

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

22. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

23. Рябкина М. А, Ткаченко К. И., Рябкина А. Е. Оптимизация состава и параметров прокатки стали 10Г2ФБ // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2006. № 16. С. 17-21.

24. Сидорец В. Н., Жерносеков А. М., Рымар С. В. Импульсно-дуговая сварка как основа современных технологий сварки плавящимся электродом // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 221–225.

25. Столяров В. И. Свариваемость высокопрочных сталей для газопроводных труб большого диаметра // Проблемы чёрной металлургии и материаловедения. 2008. № 3. С. 39–47.

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

27. Dixon K. Shielding gas selection for GMAW of steels // Welding and Metal Fabrication. 1999. № 5. P. 8–13.

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