

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 Технологический процесс и оборудование для сварки
магистрального газопровода диаметром 1420 мм

Студент

Э.Р. Салимгареев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., профессор Г.М. Короткова

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2022

Аннотация

При строительстве и ремонте магистральных трубопроводов основным технологическим процессом, определяющим безопасность и продолжительность эксплуатации трубопровода, является сварка. При этом, ремонтные работы, и в значительной степени строительные работы выполняются с применением ручной дуговой сварки, мобильность и универсальность которой по праву обеспечивает этому способу широкое применение в промышленности.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества при сварке магистрального газопровода диаметром 1420 мм.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- выполнить анализ преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок для случая сварки магистрального газопровода;
- назначить оптимальные параметры режима сварки и построить карту технологического процесса сварки магистрального трубопровода;
- провести выбор сварочного оборудования и материалов.

В оценочной части выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предложены мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 28 % и увеличить производительность на 38 %. При этом годовой экономический эффект составит 3,1 млн. рублей.

Содержание

Введение	5
1 Анализ состояния вопроса сварки магистральных газопроводов.	6
1.1 Описание магистрального газопровода.	6
1.2 Сведения о материале газопровода.	7
1.3 Особенности базовой технологии сварки стыков трубопровода.	12
1.4 Контроль качества сварных швов.	17
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	20
2 Проектный процесс сборки и сварки газопровода.	22
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	22
2.2 Подготовка кромок и сборка стыка.	26
2.3 Предварительный подогрев.	28
2.4 Сварка корневого слоя шва.	29
2.5 Сварка заполняющего и облицовочного слоев шва.	32
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы.	36
3.1 Технологическая характеристика объекта	36
3.2 Идентификация профессиональных рисков	38
3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов.	40
3.4 Пожарная безопасность на производстве.	42
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии.	44
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений.	47
4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности.	47
4.2 Расчёт объёмов фонда времени.	49
4.3 Расчет штучного времени	50
4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов	

технологии.	52
4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии.	56
4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии.	58
Заключение	62
Список используемой литературы и используемых источников.	64

Введение

Углеводороды (нефть и природный газ) являются основным источником энергии, который способен удовлетворить потребности современной цивилизации. Основным средством доставки углеводородов до конечного потребителя является магистральный газопровод. От пропускной способности трубопроводного транспорта зависит стабильность поставок энергоресурсов потребителю в России и за рубежом.

Современные газопроводы и нефтепроводы проектируются на давление, превышающее давление в ранее эксплуатируемых магистральных трубопроводах. Кроме того, новые проекты по протягиванию магистральных газопроводов реализуются в условиях действия экстремально низких температур.

В таких условиях экономически оправдано применять трубы из сталей высокого класса прочности большого диаметра. Технологам и сварщикам Российской Федерации ещё предстоит накапливать опыт в области сварки трубопроводов из сталей высокого класса прочности – К65 и более.

При строительстве и ремонте магистральных трубопроводов основным технологическим процессом, определяющим безопасность и продолжительность эксплуатации трубопровода, является сварка. При этом, ремонтные работы, и в значительной степени строительные работы выполняются с применением ручной дуговой сварки, мобильность и универсальность которой по праву обеспечивает этому способу широкое применение в промышленности. Ручная дуговая сварка имеет ряд критических недостатков, из-за которых происходит её замена на другие, более перспективные способы сварки.

На основании вышеизложенного цель квалификационной работы – повышение производительности и качества при сварке магистрального газопровода диаметром 1420 мм – следует признать актуальной.

1 Анализ состояния вопроса сварки магистральных газопроводов

1.1 Описание магистрального газопровода

Газопровод «Сила Сибири - 2» является магистральным газопроводом и предназначен для транспортировки природного газа из месторождений Сибири с КНР. Планируется подключение к магистральному газопроводу «Запад-Восток» на территории КНР, что позволит переключить поставки российского газа с западных потребителей на китайского потребителя. Протяжённость планируемого газопровода составит 2700 км по территории Российской Федерации. Суммарная протяжённость газопровода будет составлять 6700 км. Прокладываться газопровод будет через горные, заболоченные и сейсмоактивные участки. План магистрального газопровода «Сила Сибири 2» представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – План газопровода «Сила Сибири 2»

Предполагается, что трубы для газопровода будут изготовлены отечественным производителем. Диаметр трубы, которая будет использована при строительстве газопровода составляет 1420 мм. Рабочее давление составляет 9,8 МПа. Для труб будет использована бейнитная и ферритно-бейнитная сталь классом прочности К65 с толщиной стенки 23,0...37,9 мм.

1.2 Сведения о материале газопровода

В основу создания стали класса прочности К65 (по зарубежной классификации – X80) легли результаты исследований по дисперсионному упрочнению феррита карбидами ниобия. Содержание химических элементов в различных сталях марки прочности К65 (X80) представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в сталях классом прочности К65 (X80)

Содержание элементов, %, и механические свойства	Марка стали		
	E550	APIX80	APIX100
Сера	0,001	0,001	0,001
Фосфор	0,018	0,015	0,015
Углерод	0,096	0,07	0,07
Азот	0,004	0,0057	0,00
Медь	0,00	0,00	0,20
Кремний	0,40	0,27	0,20
Ванадий	0,00	0,00	0,00
Никель	0,00	0,00	0,20
Марганец	1,94	1,86	1,90
Титан	0,017	0,023	0,015
Молибден	0,01	0,15	0,30
Алюминий	0,038	0,036	0,00
Ниобий	0,043	0,04	0,05

Выпуск труб из стали класса прочности К65 в Российской Федерации освоен на заводах:

- Волжский трубный завод,
- Выксунский металлургический комбинат,
- Ижорский трубный завод.

Значительные успехи в производстве труб класса прочности К65 достигнуты на Харцызском трубном заводе (Укарина), где работы ведутся совместно с институтом электросварки им. Е. О. Патона. Сталь для производства труб выплавлялась на Металлургическом комбинате «Азовсталь». Плавки содержали сниженное количество углерода, которое не

превышало 0,06 %, микролегирующие элементы ниобий, титан и ванадий в сумме составляли не более 0,14 %. В стали было выполнено дополнительное легирование молибденом в количестве, не превышающем 0,14 %. Проведённые исследования показали соответствие сварных соединений и основного металла требованиям, предъявляемым к стали класса прочности К65. Это позволяет использовать её для выполнения работ по строительству объектов «Газпром», которые работают с давлением до 11,8 МПа.

Проведенные исследования структуры металла труб [7] позволили установить, что при нагреве до 1350 °С в структуре металла участка крупного зерна преобладает бейнит, как показано на рисунке 2-а.

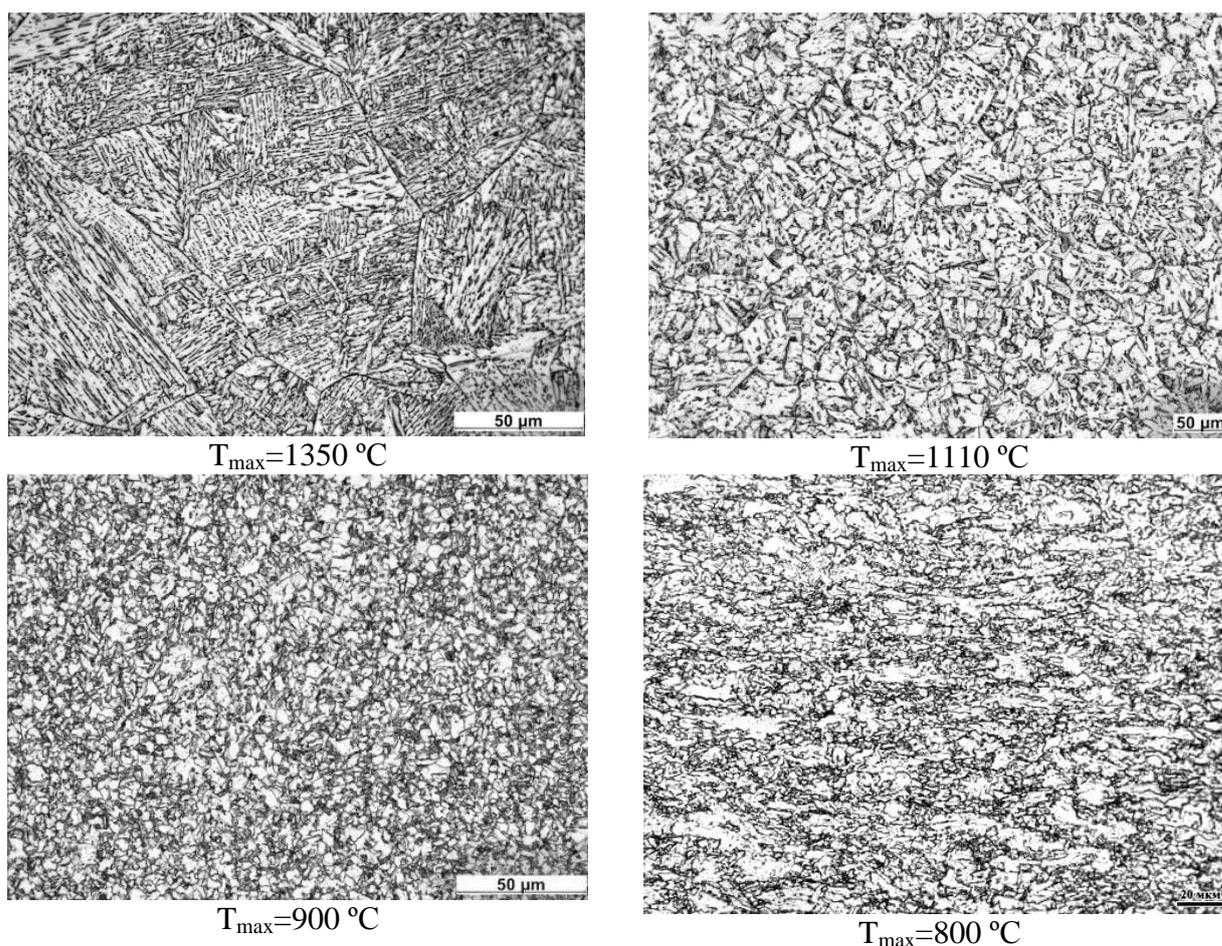


Рисунок 2 – Микроструктура образцов из стали К65 при различной температуре нагрева

На участке полной перекристаллизации, на котором происходит нагрев до температуры 1100 °С независимо от скорости охлаждения структура металла – бейнитная, как показано на рисунке 2-б.

На участке полной перекристаллизации металла зоны термического влияния при нагреве до 900°С структуру составляет феррит с участками гранулярного бейнита, как показано на рисунке 2-в.

На участке частичной перекристаллизации металла в зоне термического влияния при нагреве до 850 °С структуру составляет бейнит с аустенитно-мартенситными участками, как показано на рисунке 2-г.

Применение сталей высокой прочности при изготовлении труб большого диаметра применяет следующие принципы [12], [21]:

- уменьшается значение перлитной составляющей для повышения прочности стали,
- в структуре металла труб стараются максимально измельчить зерно, что позволит получить повышение стойкости против хрупкого разрушения при низких температурах и повышение прочности,
- использование свойства карбидонитридообразующих элементов дисперсионно упрочнять металл,
- создание развитой субструктуры.

Оценку свариваемости проводили на фрагментах труб диаметром 1420 мм толщиной 18...32 мм [21].

Содержание химических элементов в высокопрочных трубных сталях отличается небольшим содержанием меди и хрома, а также наличием карбидонитридообразующих элементов.

Микроструктура основного металла, не подвергающегося сварочному циклу, включает в себя 90...95 % бейнита и 5...10 % феррита. При этом твёрдость составляет 220...230 HV.

За счёт снижения содержания углерода в трубных высокопрочных сталях существенно повышается свариваемость. Это объясняется

уменьшением склонности металла околошовной зоны к образованию холодных трещин. Также происходит увеличение ударной вязкости.

Однако применение при строительстве газопроводов труб с толщиной стенки более 25 мм значительно усложняет технологию сварки, так как становится проблематичным обеспечение хорошей свариваемости. При этом наиболее проблемным участком становится околошовная зона, которая в большей степени подвергается отрицательным действиям от термического цикла при сварке. Именно поэтому поведение металла околошовной зоны становится основной проблемой при сварке трубопроводов.

Протекание фазовых превращений при сварке трубных сталей в значительной мере зависит от химического состава и термического цикла при сварке. Характерные значения скоростей охлаждения, полученные в результате экспериментов [21], представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Скорости охлаждения металла околошовной зоны при сварке труб большого диаметра [21]

Способ сварки	Скорость охлаждения, °C/c
Автоматическая сварка под флюсом	4...7
Ручная дуговая сварка при заполнении разделки	25...45
Ручная дуговая сварка при сварке корневого слоя шва	70
Механизированная сварка в углекислом газе	100...120
Лазерная сварка	более 150

На структурные превращения при сварке положительное влияние оказывает молибден, который расширяет область бейнитных превращений, способствуя образованию оптимальной структуры металла околошовной зоны. При этом следует учитывать, что скорость охлаждения металла после сварки, превышающая 120 °C/c, способствует появлению мартенситной составляющей в микроструктуре, что, в свою очередь, снижает стойкость

против образования холодных трещин. Для того, чтобы снизить образование холодных трещин, необходимо применять предварительный подогрев.

Проведённые исследования [21] показали, что максимальная ударная вязкость металла сварного шва и околошовной зоны достигается при скорости охлаждения порядка 20 °С/с, что соответствует ручной дуговой сварке. Например, при сварке под флюсом наблюдается значительное падение уровня ударной вязкости. Также ударная вязкость резко падает при увеличении погонной энергии сварки, что также способствует уменьшению скорости охлаждения. Повышение скорости охлаждения металла выше 90 °С/с также приводит к образованию холодных трещин.

Требования к трубам из сталей различного класса прочности представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Требования к трубным сталям [15], [17], [19]

Наименование параметра	X80		X90		K70	
	Основной металл	Шов и ЗТВ	Основной металл	Шов и ЗТВ	Основной металл	Шов и ЗТВ
Предел текучести, МПа	≥ 555	≥ 555	≥ 625	≥ 625	≥ 590	≥ 590
Предел прочности, МПа	≥ 640	≥ 640	≥ 695	≥ 695	≥ 690	≥ 690
Относительное удлинение, %	≥ 18	-	≥ 17	-	≥ 16	-
KCV при -40 °С	≥ 250 Дж	≥ 70 Дж	≥ 140 Дж	≥ 140 Дж	≥ 80 Дж	≥ 40 Дж

На основании вышеизложенного следует заключить, что основной проблемой сварки сталей повышенной прочности при строительстве трубопроводов является возникновение холодных трещин. Это приводит к потере работоспособности конструкции. При этом устранение дефектов требует проведения ремонта, что снижает производительность выполнения работ и существенно повышает их стоимость.

Дальнейшие работы должны быть направлены на повышение эффективности сварочных процессов при строительстве магистральных газопроводов.

1.3 Особенности базовой технологии сварки стыков трубопровода

При выполнении захлёста труб проводят следующие операции технологического процесса:

- разметка и подготовка кромок,
- сборка и прихватка,
- предварительный подогрев,
- сварка,
- контроль качества.

При разметке и подготовке кромок первоначально следует произвести визуальный осмотр поверхности труб (при этом трубы не должны иметь недопустимых дефектов, регламентированных техническими условиями на поставку труб).

Далее следует очистить внутреннюю полость труб от попавшего внутрь грунта, грязи, снега. После этого следует выправить или обрезать деформированные концы и повреждения поверхности труб, очистить до чистого металла кромки и прилегающие к ним внутреннюю и наружную поверхности труб на ширину не менее 40 мм.

После этого по всему периметру стыкуемых труб выполняют ультразвуковой контроль поверхности на ширину не менее 40 мм от стыка. Если в результате ультразвукового контроля было выявлено расслоение, необходимо обрезать трубу на расстояние не менее 300 мм от торца. После обрезки проводят повторный ультразвуковой контроль для выявления расслоений.

С применением механической резки выполняют подготовку кромок труб, как показано на рисунке 3. При механической обработке кромок труб следует обеспечить удаление металла труб на глубину не менее 1 мм. Также следует удалить усиление заводского шва трубы на высоту 0,5...1,0 мм на расстояние 10...15 мм от стыка.

Кромки труб и прилегающую поверхность труб на расстояние до 15 мм от стыка необходимо зачистить до металлического блеска.

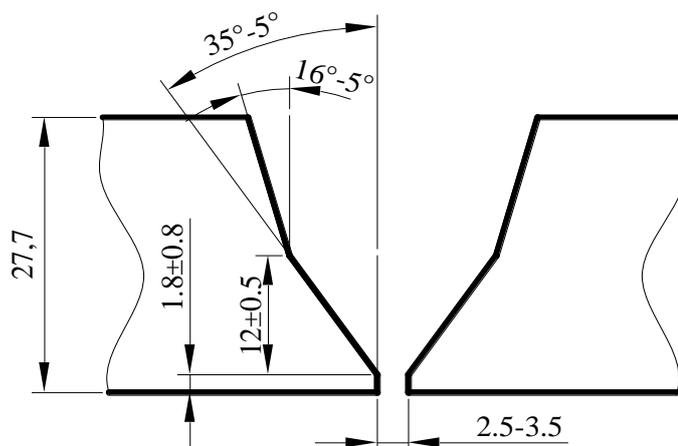


Рисунок 3 – Подготовка кромок труб под сварку

«Стыковку труб с применением наружного центратора выполняют путем подъема обрезанной плети трубоукладчиками на высоту не более 1,5 м на расстоянии 60-80 м от конца трубы; при этом за счет упругих деформаций обрезанный конец провисает, что позволяет совместить один конец с другим» [20].

Не допускается стропить трубу для подъема в месте расположения сварных кольцевых швов.

Регулировку зазора в стыке осуществляют изменением высоты подъема трубопровода трубоукладчиками.

Сборку стыка труб проводят с применением наружного центратора. Сборку выполняют с зазором 2,5...3,5 мм.

После сборки выполняют предварительный подогрев стенки трубы в месте установки прихватки с применением однопламенной газовой горелки.

Количество прихваток – не менее четырёх, при этом следует равномерно располагать прихватки по периметру стыка труб. При выполнении прихваточного шва принимаются такие же параметры режима, как и при выполнении корневого слоя шва. Прихватки должны быть длиной

100...200 мм и располагаться не ближе 100 мм от заводского шва трубы. Параметры режима сварки представлены в таблице 4.

После выполнения прихваток следует провести их визуальный осмотр на предмет наличия недопустимых дефектов. Также следует провести контроль смещения кромок, которое по всему периметру не должно превышать 2 мм. Допускается локальное смещение кромок на величину до 3 мм, но при этом суммарная длина таких участков не должна быть больше 743 мм.

Таблица 4 – Параметры режимов сварки

Сварочные слои	Марка электрода	Диаметр, мм	Полярность	Сварочный ток, А
«Корневой	LB-62U	3.2	обратная	80-120
Заполняющие	Pipelinер 19P	3.2	обратная	80-120
Облицовочный» [20]	Pipelinер 19P	3.2	обратная	80-120

Предварительный подогрев проводят на расстояние не менее 150 мм в обе стороны от стыка. Предварительный подогрев ведут до температуры 100...130 °С с применением установки индукционного нагрева или кольцевыми нагревателями.

Контроль температуры подогрева проводят с применением термопар, которые следует устанавливать в нижней точке стыка, верхней точке стыка и на вертикальных участках периметра. Термопары следует устанавливать на расстоянии 10...15 мм и 60...75 мм от стыка.

При предварительном подогреве приоритет следует отдавать устройствам индукционного нагрева. Применение кольцевых газовых нагревателей целесообразно при перерывах энергообеспечения.

Сварку первого (корневого) слоя шва электродами с целлюлозным покрытием ведут постоянным током обратной или прямой полярности, сварку "горячего" прохода и последующих слоев шва – электродами с целлюлозным покрытием на обратной полярности, а также сварку всех слоев шва электродами с основным покрытием – на постоянном токе обратной

полярности. Параметры режима сварки и применяемые электроды приведены в таблице 4.

«При вынужденных перерывах во время сварки первого (корневого) слоя шва необходимо поддерживать температуру торцов труб на уровне требуемой температуры предварительного подогрева. Если это условие было не соблюдено, то стык должен быть вырезан и заварен вновь» [20].

При сварке корневого слоя шва с применением угловой шлифовальной машины выполняют удаление прихваток. Разрешается освобождение стягивающих механизмов центриатора только после того, как сварено не менее 60 % длины корневого слоя шва по стыку труб. Выполнение корневого слоя шва ведут участками, которые следует располагать равномерно по всему стыку.

"Горячий" проход является обязательной операцией, которую осуществляют непосредственно после сварки и шлифовки корневого слоя шва, выполненного с применением целлюлозных электродов.

"Горячим" проходом считается только такой проход, который выполнен по неостывшему корневному слою шва электродами с целлюлозным видом покрытия или специальными низководородистыми электродами, обеспечивающими возможность сварки "на спуск".

Время между окончаниями сварки первого слоя шва и началом выполнения "горячего" прохода не должно быть более 5 мин. Скорость сварки "горячего" прохода целлюлозными электродами – 18...20 м/ч.

При сварке корневого слоя шва электродами с основным видом покрытия "на спуск" дугу возбуждают методом "зажигания спички" на поверхности разделки, затем, чуть оторвав электрод от поверхности зажигания (длина дуги не более 1,5 мм), мгновенно переводят дугу на свариваемые кромки. Кратер необходимо выводить на поверхность разделки кромок или прорезать шлифмашинкой. После достижения контакта между втулочкой электрода и поверхностью разделки электрод перемещают сверху вниз без поперечных колебаний, непрерывно регулируя положение дуги

относительно сварочной ванны. Промежуток "застывший сварочный шлак - дуга" регулируется изменением наклона электрода, скоростью его перемещения, усилием прижатия электрода к свариваемым кромкам и силой тока.

Сварку заполняющих и облицовочного слоёв шва выполняют снизу вверх. Заполняющие слои, начиная со второго, выполняют в два или три прохода. Количество проходов определяется шириной раскрытия кромок, при этом необходимо обеспечить перекрытие смежных валиков на 1/3 их ширины.

В процессе выполнения заполняющих и облицовочного слоёв необходимо поддерживать температуру стыка, которая перед сваркой должна быть не менее 50 °С и не более 250 °С. В случае, если температура участка стыка опустилась ниже 50 °С, следует выполнить сопутствующий подогрев с применением однопламенной газовой горелки.

Сварной шов облицовочного слоя должен перекрывать основной металл в каждую сторону от шва на 2,5...3,5 мм и иметь усиление высотой 1...3 мм. Геометрия сварного шва представлена на рисунке 4.

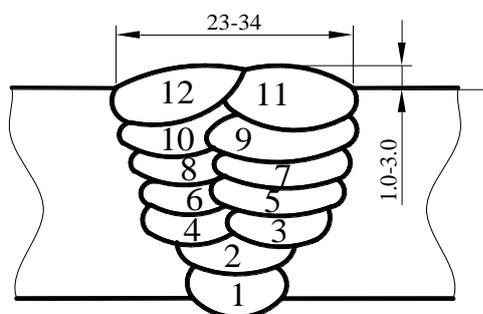


Рисунок 4 – Сварной шов труб: Минимальное количество слоёв - 7, проходов - 2

«Чтобы предупредить образование дефектов между слоями перед наложением каждого последующего слоя шва, поверхность предыдущего шва должна быть очищена от шлака и брызг наплавленного металла. После окончания сварки поверхность облицовочного слоя шва также должна быть очищена от шлака и брызг» [20].

1.4 Контроль качества сварных швов

Контроль сварных стыков трубопроводов производится:

- систематическим операционным контролем, осуществляемым в процессе сборки и сварки трубопроводов;
- визуальным осмотром и обмером сварных соединений;
- проверкой сварных швов неразрушающими методами контроля.

«Операционный контроль должен выполняться производителями работ и мастерами, а самоконтроль — исполнителями работ.

При операционном контроле должно проверяться соответствие выполняемых работ рабочим чертежам, государственным стандартам и инструкциям, утвержденным в установленном порядке.

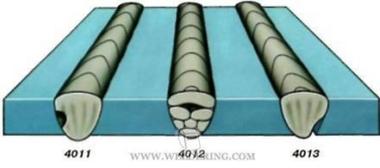
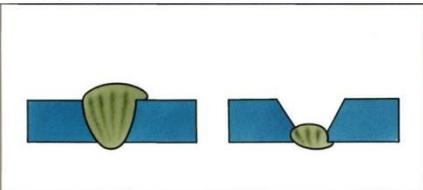
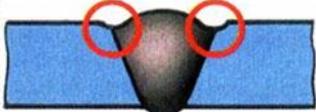
После выполнения сварки следует провести контроль качества с применением визуально-измерительного контроля в объеме 100 % и радиографического контроля в объеме 100 %» [20].

Стыки, выполненные дуговой сваркой, очищаются от шлака и подвергаются внешнему осмотру. При этом они не должны иметь трещин, подрезов глубиной более 0,5 мм, недопустимых смещений кромок, кратеров и выходящих на поверхность пор. Усиление шва должно быть высотой в пределах от 1 до 3 мм и иметь плавный переход к основному металлу.

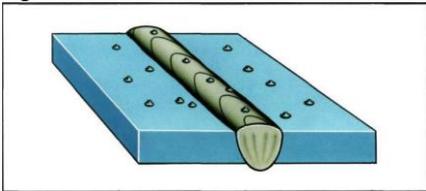
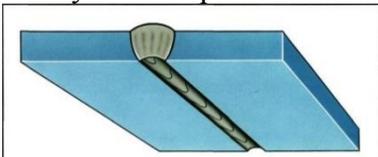
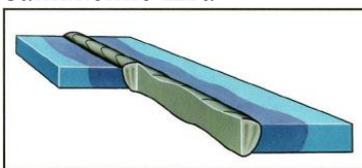
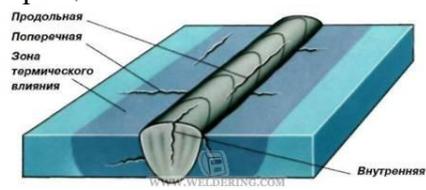
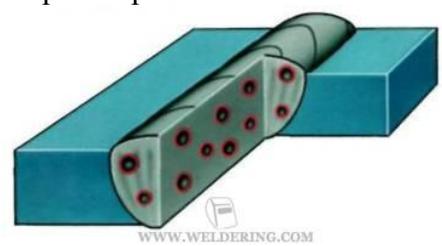
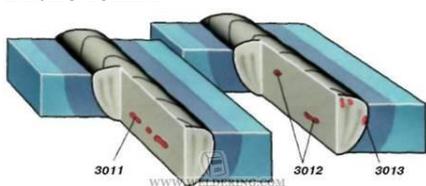
Радиографический контроль позволяет выявлять различные внутренние дефекты, которые представлены в таблице 5: поры, неметаллические включения, трещины, непровары.

Визуально-измерительный контроль проводят с использованием специального комплекта, который включает в себя такие инструменты, как угольник, металлическую линейку, штангенциркуль, рулетку, универсальный шаблон сварщика, лупу с подсветкой увеличением 3,5 крат и лупу без подсветки увеличением 7 крат, набор щупов и шаблонов. Также в состав комплекта входит инструкция по визуальному контролю РД 03-606-03, маркер по металлу и электрический фонарик.

Таблица 5 – Дефекты, возникающие при сварке по базовой технологии и анализ причин их образования [1], [5]

Дефекты	Причины образования дефектов
<p style="text-align: center;">1</p> <p>Непровары</p> 	<p style="text-align: center;">3</p> <p>«- недостаточная величина технологического зазора при сборке; - ошибки при подготовке кромок (увеличенное притупление кромок); - плохая зачистка поверхности перед сваркой; - недостаточное качество послойной зачистки; - несоблюдение параметров режима сварки (малая погонная энергия); неправильное ведение электрода при сварке» [1], [5]</p>
<p>Прожоги</p> 	<p>«- сборка торцев труб со значительным смещением кромок; - несоблюдение параметров режима сварки – малая погонная энергия; - превышение величины технологического зазора заданного значения; - ошибки при подготовке кромок (недостаточное притупление кромок); - деформации деталей при сварке» [1], [5]</p>
<p>Кратеры</p> 	<p>- неправильное ведение электрода при сварке</p>
<p>Наплывы на сварном соединении</p> 	<p>«- неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки); - повышенное падение напряжения на дуге при её чрезмерной длине; - несоблюдение параметров режима сварки - чрезмерная величина сварочного тока» [1], [5]</p>
<p>Подрезы зоны сплавления.</p> 	<p>«- неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки); - несоблюдение параметров режима сварки (чрезмерная величина сварочного тока); - неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки)» [1], [5]</p>

Продолжение таблицы 5

1	3
<p>Брызги металла</p> 	<p>«- неправильное ведение электрода при сварке (недостаточный наклон, чрезмерная скорость сварки); - повышенное падение напряжения на дуге при её чрезмерной длине» [1], [5]</p>
<p>Вогнутость корня шва</p> 	<p>«- избыточная величина технологического зазора при сборке; - ошибки при подготовке кромок (недостаточное притупление кромок) » [1], [5]</p>
<p>Занижение шва</p> 	<p>«- избыточная величина технологического зазора при сборке; - ошибки при подготовке кромок (чрезмерная величина угла разделки); - неправильное ведение электрода при сварке» [1], [5]</p>
<p>Трещины</p> 	<p>«- термообработка проведена не сразу после сварки - при сварке была нарушена газовая защита сварочной ванны; - недостаточное качество основного металла; - чрезмерная скорость сварки вызвала увеличение скорости охлаждения» [1], [5]</p>
<p>Поры сварного шва</p> 	<p>«- недостаточное качество основного металла. - некачественная прокалка электродов перед сваркой; - неправильное ведение электрода при сварке (чрезмерная длина дуги); - нарушение подготовки свариваемых кромок; - при сварке была нарушена газовая защита сварочной ванны; - неправильно выбран диаметр электрода; - чрезмерная скорость сварки вызвала увеличение скорости охлаждения» [1], [5]</p>
<p>Включения</p> 	<p>«- неправильное ведение электрода при сварке; - плохая зачистка поверхности перед сваркой; - при сварке была нарушена газовая защита сварочной ванны; - недостаточное качество основного металла» [1], [5]</p>

Для рентгеновского контроля применяется дефектоскоп РПД-200.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Целью выпускной квалификационной работы является «повышение производительности и качества при сварке магистрального газопровода диаметром 1420 мм».

При выполнении базового технологического процесса сварки стыков магистрального газопровода последовательно выполняются операции:

- «очистка кромок труб от загрязнения и их разделка
- сборка труб под сварку с соблюдением допусков по точности сборки,
- предварительный подогрев кромок перед сваркой,
- выполнение сварки (корневой слой шва, заполнение разделки и облицовочный слой),
- контроль качества сварки» [20].

Применяемая в базовой технологии сварка штучными электродами обладает рядом недостатков.

Во-первых, в настоящее время ручная дуговая сварка исчерпала свои резервы в области оптимизации параметров режима и совершенствования техника наплавки. Таким образом, повышение производительности и качества ручной дуговой сварки различными техническими приемами больше достигнуто быть не может.

Во-вторых, при ручной дуговой сварке наблюдается значительное образование пор, непроваров и трещин, что объясняется снижением качества защиты расплавленного металла, перегревом основного металла и попаданием в сварной шов загрязнений.

В третьих, ручная дуговая сварка характеризуется тяжёлыми и вредными условиями труда сварщика, который находится под воздействием вредных факторов сварочной дуги и сварочного аэрозоля.

В четвёртых, из-за потерь на угар и разбрызгивание теряется значительная часть дорогостоящих электродов. Кроме того, потери электродов возрастают из-за огарков.

Таким образом, достижение поставленной цели произойдёт в случае решения ряда задач, которые необходимо будет решить при выполнении исполнительского раздела выпускной квалификационной работы:

- выполнить анализ преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок для случая сварки магистрального газопровода;
- назначить оптимальные параметры режима сварки и построить карту технологического процесса сварки магистрального трубопровода;
- провести выбор сварочного оборудования и материалов.

После решения задач в исполнительском разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнение оценочного блока, в котором будут решены ещё две задачи.

Во-первых, предстоит оценка предлагаемых технических решений на предмет экологической безопасности и охраны труда. Далее предстоит назначить средства и мероприятия по обеспечению установленных нормативов по безопасности технологических процессов для персонала и окружающей среды [3], [6].

Во-вторых, предстоит выполнить экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий, на основании которых следует сделать вывод о экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений [9], [10].

2 Проектный процесс сборки и сварки газопровода

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Для обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии следует выполнить конструкционно-технологический анализ. При этом в качестве исходных и критериев оценки для проведения такого анализа служат:

- химическая активность и свариваемость материала, из которого выполняется сварная конструкция;
- толщина материала свариваемой конструкции;
- конфигурация и протяжённость сварных швов в рассматриваемой конструкции;
- соответствие степени механизации и автоматизации рассматриваемого способа сварки условиям, в которых выполняется сварка;
- соотношение преимуществ и недостатков рассматриваемых способов сварки.

При анализе химической активности стали марки прочности К65 следует отметить её малую химическую активность. Как правило, в такие стали не входят химические элементы с высоким сродством к кислороду. Исход из этого при выполнении сварных конструкций из стали марки прочности К65 могут быть применены все известные способы сварки.

Для рассматриваемой толщины стенок трубы 27,7 мм применение газовой, аргонодуговой и электрошлаковой сварки будут затруднены. Поэтому их следует отбросить.

При рассмотрении конфигурации и протяжённости сварных швов в конструкции следует указать, что выполняется сварка неповоротного

горизонтального стыка труб. Исходя из этого следует рассмотреть такие способы сварки, как:

- «ручная дуговая сварка,
- автоматическая сварка под флюсом,
- сварка плавящимся электродом в защитных газах,
- сварка порошковой самозащитной проволокой» [22], [23].

Ручная дуговая сварка имеет ряд преимуществ, которые позволили получить ей широкое распространение во многих отраслях промышленности [2], [22]:

- относительная дешевизна и простота сварочного оборудования;
- возможность проведения сварки с использованием уже имеющегося на предприятии оборудования;
- построение технологического процесса с применением ручной дуговой сварки не требует глубоких профессиональных знаний.

Сварка под флюсом позволяет получать соединения высокого качества и с высокой производительностью. Использование автоматической сварки под флюсом «позволяет сваривать металл толщиной 10...20 мм при двухсторонней односторонней сварке на флюсовой подушке. Широкое распространение сварки под флюсом в массовом производстве обусловлено преимуществами этого способа» [22], [23]:

- сварка под флюсом не предъявляет серьезных требований к квалификации сварщика, что наблюдается при ручной дуговой сварке;
- сварка под флюсом обладает высокой производительностью, которая многократно превышает производительность при ручной дуговой сварке;
- сварка под флюсом характеризуется высоким качеством наплавленного металла;
- при сварке под флюсом значительно улучшаются условия труда сварщика, так как устраняется разбрызгивание, что уменьшает вред

сварочного аэрозоля. Кроме того, значительно снижается тепловое и световое воздействие дуги, которая скрыта под слоем флюса.

В «качестве альтернативы ручной дуговой сварки выступает механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах. В настоящее время происходит планомерная замена ручной дуговой сварки механизированными и автоматическими способами» [11], [13], [14], [18]. В числе преимуществ этого способа сварки можно отметить:

- высокая производительность процесса, которая существенно выше, чем при ручной дуговой сварке;
- отсутствие шлаковой корки, которую не нужно сбивать при выполнении многослойной сварки. Это позволяет повысить производительность и качество сварочных работ;
- при сварке в углекислом газе наблюдается повышение вязкости расплавленного металла по сравнению со сваркой порошковой проволокой и ручной дуговой сваркой. В результате упрощается сварка в различных пространственных положениях;
- проволока сплошного сечения по сравнению с порошковой проволокой обладает значительной стойкостью против заломов, поэтому механизм подачи проволоки сплошного сечения значительно проще, чем при сварке порошковой проволокой.

Сварка самозащитной порошковой проволокой «предоставляет значительные преимущества при организации технологического процесса, которые наиболее полно проявляются именно в условиях монтажа и ремонта» [16], [24].

В числе преимуществ сварки самозащитными порошковыми проволоками можно обозначить:

- существенно повышается мобильность сварочного поста, так как при сварке не требуется применение газовой аппаратуры, это преимущество может оказаться определяющим при построении технологии ремонта и монтажа;

- при работе на открытом воздухе обеспечивается лучшая защита сварного шва по сравнению со сваркой в защитном газе;
- сварка порошковыми проволоками позволяет получить большую производительность по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой в защитном газе.

Выполняли экспертную оценку каждого способа. При этом в качестве критериев принимали:

- производительность способа,
- мобильность способа,
- стоимость сварочных материалов,
- условия труда сварщика,
- стоимость сварочного оборудования,
- стабильность качества сварки.

На основании полученных ранее знаний в процессе обучения на кафедре сварки оценивали каждый способ по рассматриваемым критериям. Результаты экспертной оценки сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Экспертная оценка анализируемых способов сварки по выбранным критериям

Показатель	Способ сварки			
	Ручная дуговая	Под флюсом	В защитном газе	Порошковой самозащитной проволокой
«Производительность	1	4	2	3
Мобильность способа	4	1	2	3
Стоимость сварочных материалов	2	3	4	1
Условия труда	1	3	4	2
Стоимость оборудования	4	1	2	3
Качество сварного шва» [22], [23]	1	4	3	2
ВСЕГО	13	16	17	13

Самый высокий суммарный балл получила механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения. Этот способ и будем использовать при составлении проектной технологии сварки магистрального газопровода.

2.2 Подготовка кромок и сборка стыка

Перед выполнением сборки стыка проводят осмотр состояния кромок и поверхности труб. Если на поверхности труб обнаружены такие повреждения, как задиры, риски или царапины, их устранение проводят с применением шлифовки. Шлифовку допускается выполнять, если глубина дефекта не превышает 0,5 мм. Если глубина дефекта составляет менее 0,2 мм, дефект не исправляют.

Применять сварку для исправления дефектов поверхности труб не допускается. Также не следует исправлять вмятины труб с применением правки.

В случае обнаружения недопустимых дефектов следует провести кислородную резку трубы.

После этого по всему периметру стыкуемых труб выполняют ультразвуковой контроль поверхности на ширину не менее 40 мм от стыка. В случае обнаружения расслоения следует выполнить обрезку трубы на расстоянии от торца 300 мм. После того, как конец трубы с расслоениями был обрезан, следует повторно провести контроль состояния торцев с применением ультразвукового контроля.

Также следует удалить усиление заводского шва трубы на высоту 0,5...1,0 мм на расстояние 10...15 мм от стыка.

Кромки труб и прилегающую поверхность труб на расстояние до 15 мм от стыка необходимо зачистить до металлического блеска.

Скос кромок трубы под варку выполняют по форме, представленной на рисунке 5.

Для подготовки кромок применяется станок PFM 3456, представленный на рисунке 6.

Для сборки труб под сварку применяется наружный центратор. При сборке следует обеспечить расстояние между заводскими швами труб не менее 100 мм. Желательно обеспечить расположение заводских швов на трубах в верхнем полупериметре стыка.

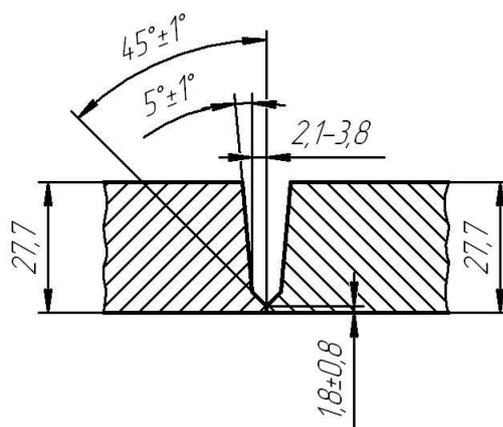


Рисунок 5 – Подготовка кромок труб под сварку



Рисунок 6 – Подготовка кромок труб с использованием станка PFM 3456

При сборке стыка труб локальный зазор «не должен превышать 0,5 мм по участкам, длина каждого не превышает 100 мм. Возникающее смещение кромок следует равномерно распределить по длине стыка. Допускается локальное смещение кромок на величину до 3 мм, но при этом суммарная длина таких участков не должна быть больше 743 мм» [20].

При выполнении сборки труб запрещено подгонять их концы с применением ударного инструмента.

2.3 Предварительный подогрев

Предварительный подогрев проводят на расстояние не менее 150 мм в обе стороны от стыка. Предварительный подогрев ведут до температуры 100...130 °С с применением установки индукционного нагрева или кольцевыми нагревателями.

Контроль температуры подогрева проводят с применением термопар, которые следует устанавливать в нижней точке стыка, верхней точке стыка и на вертикальных участках периметра. Термопары следует устанавливать на расстоянии 10...15 мм и 60...75 мм от стыка.

При предварительном подогреве приоритет следует отдавать устройствам индукционного нагрева. Применение кольцевых газовых нагревателей целесообразно при перерывах энергообеспечения.

«Для предварительного подогрева используется набор водоохлаждаемых кабелей для индукционного нагрева труб (производство «Унитех», www.unitechufa.ru), включающий гибкий кабель ВГИК (Водоохлаждаемый гибкий индукционный кабель), являющийся индуктором, и два токоподвода (ВИТ – Водоохлаждаемый индукционный токоподвод и МТК – Малоиндукционный токоподводящий кабель)» [24]. Оборудование для предварительного подогрева представлено на рисунке 7.

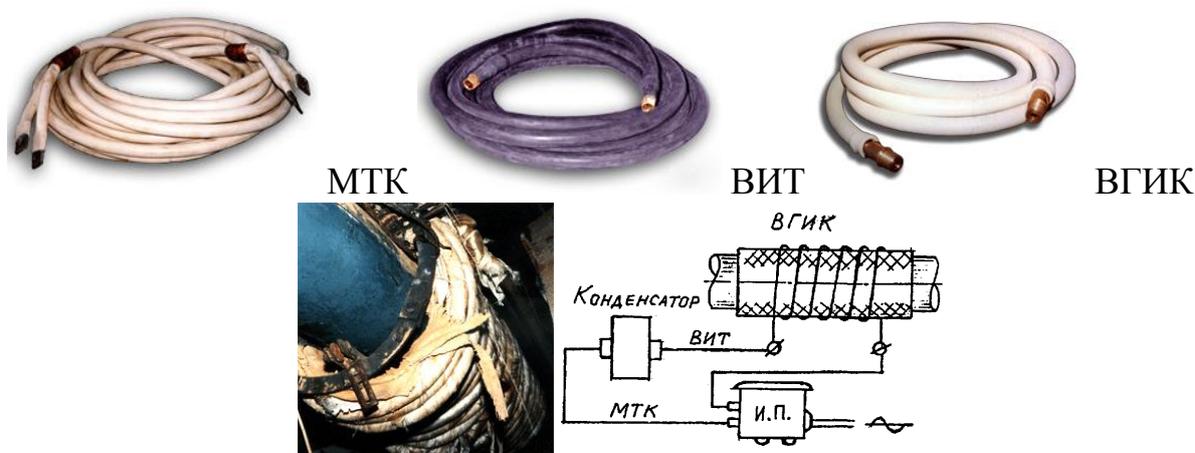


Рисунок 7 – Элементы для индукционного нагрева ВГИК, ВИТ и МТК и схема их подключения

«Кабель ВГИК представляет собой гофрированную гибкую трубку диаметром 25...30 мм из нержавеющей стали или латуни толщиной 0,2...0,3 мм, помещенную в медную оплетку, являющуюся основной токопроводящей частью кабеля. Снаружи кабель изолирован термостойкой резиной, стеклотканевым и асботканевым чехлом. Кабель ВГИК выпускается нескольких модификаций в зависимости от величины и частоты рабочего тока (на ток 800, 1000 и 1200 А частотой от 50 Гц до 10 кГц)» [24].



Рисунок 8 – Сварочный трансформатор ТДМ-501

В качестве источника тока при предварительном подогреве используется сварочный трансформатор ТДМ-501, который представлен на рисунке 8.

2.4 Сварка корневого слоя шва

При сварке корневого слоя шва применяется механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения по технологии STT.

Использование технологии STT позволяет применять стандартную разделку кромок, так как процесс сварки мало чувствителен к качеству сборки по сравнению с классическими технологиями сварки.

Для выполнения корневого слоя шва предлагается использовать проволоку марки L-56 диаметром 1,14 мм производства Lincoln Electric. Эта проволока представлена на рисунке 9.

Химический состав проволоки представлен в таблице 7, а механические свойства наплавленного металла – в таблице 8. Параметры режима сварки корневого слоя шва представлены в таблице 9.



Рисунок 9 – Проволока SuperArc L-56

Таблица 7 – Химический состав проволоки SuperArc L-56

«Углерод	Марганец	Кремний	Сера	Фосфор	Медь
0,05...0,15 %	1,40...1,85 %	0,80...1,15 %	< 0,035 %	< 0,025 %	до 0,50 %» [20]

Таблица 8 – Механические свойства наплавленного металла

«Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относит. удли., %	Ударная вязкость при -29 °С, Дж
564	468	29	54» [20]

Таблица 9 – Параметры режима сварки по технологии STT проволокой SuperArc L-56 диаметром 1,14 мм

«Скорость подачи проволоки, дюйм./мин	Пиковый ток, А	Сварочный ток, А	Базовый ток, А	Расход газа, л/мин	Вылет проволоки, мм
90...170	400...420	150...170	35...55	10...12	10...16» [20]



Рисунок 10 – Источник питания Invertec STT-II с механизмом подачи проволоки LF-33

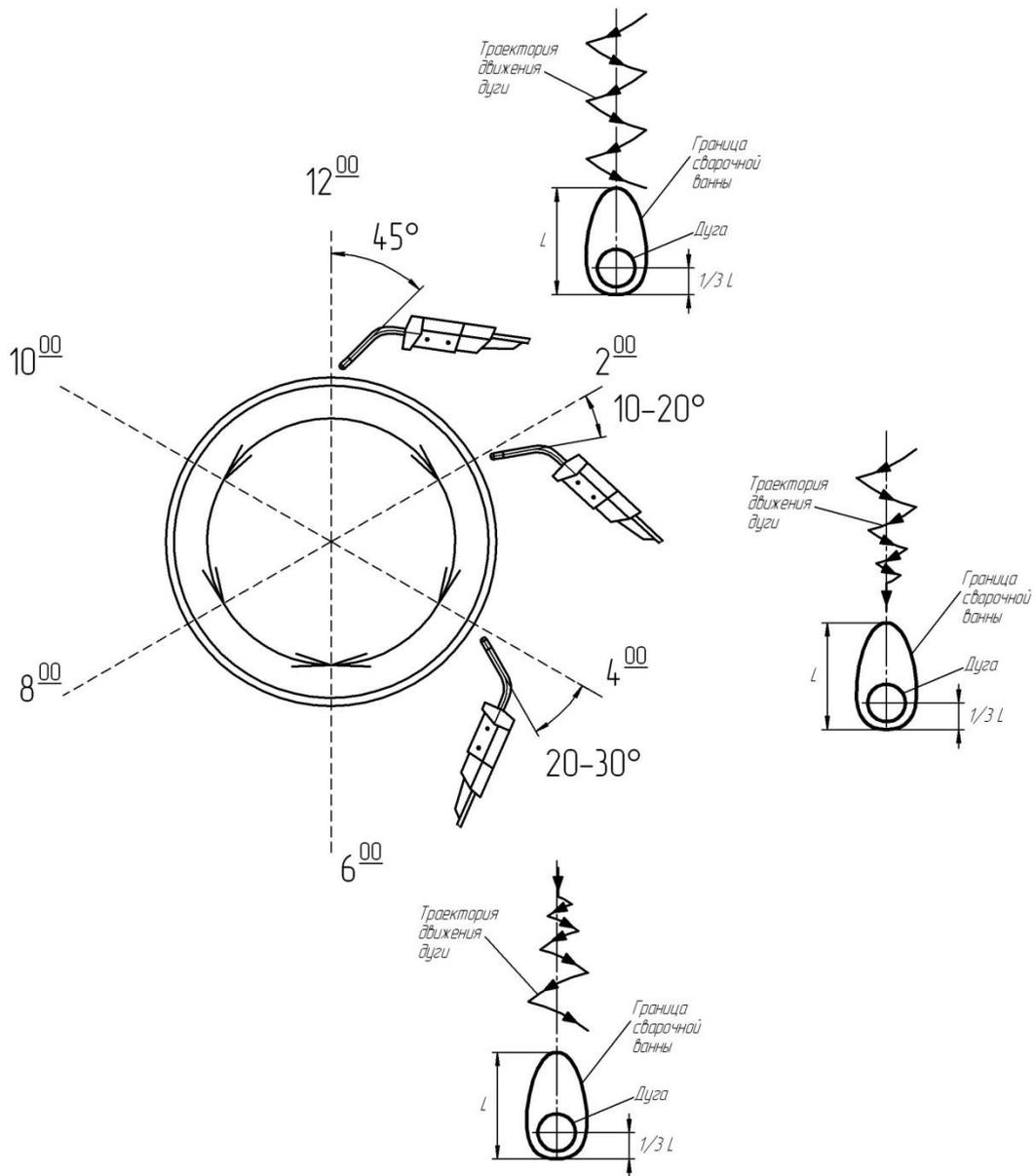


Рисунок 11 – Техника сварки корневого слоя по технологии STT

При сварке для питания дуги применяется источник питания инверторного типа, снабжённый функцией импульсного управления дугой STT, Invertec STT-II. Внешний вид источника питания Invertec STT-II и механизма подачи проволоки представлен на рисунке 10. Техника сварки, позволяющая реализовать преимущества технологии STT, показана на рисунке 11.

2.5 Сварка заполняющего и облицовочного слоев шва

Промежуток времени между окончанием сварки корневого слоя шва и началом сварки заполняющего слоя шва не должен превышать 10 минут. В противном случае следует провести подогрев стыка до температуры 100...130 °С.

Для заполнения разделки и выполнения облицовочного слоя шва предлагается использовать наружные сварочные головки Р-600, которые представлены на рисунке 12. В качестве источника питания предлагается использовать выпрямитель DC-400, который представлен на рисунке 13.

При сварке следует поддерживать межслойную температуру в пределах 50...250 °С. При снижении межслойной температуры менее 50 °С следует выполнить подогрев до 100 °С.

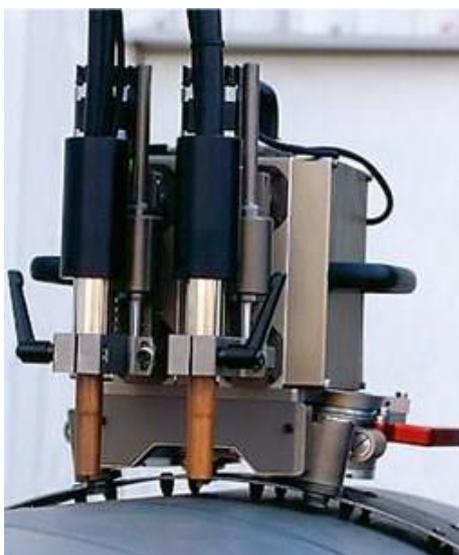


Рисунок 12 – Сварка двухдуговой головкой Р-600



Рисунок 13 – Сварочный выпрямитель DC-400

В качестве сварочной проволоки предлагается использовать проволоку сплошного сечения Union K-Nova Ni Ø 1.0 мм типа ER80S-G по AWS A5.28. В качестве защитного газа предлагается использовать смесь 80%Ar + 20%CO₂.

Заполнение разделки представлено на рисунке 14. Количество заполняющих слоёв должно быть не менее 10.

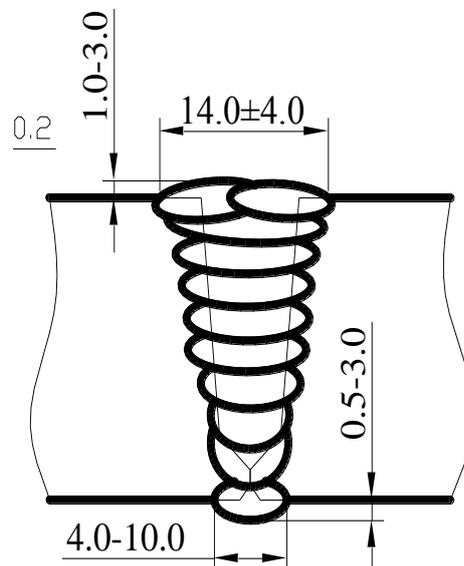


Рисунок 14 – Сварной шов труб

Сварной шов облицовочного слоя должен перекрывать основной металл в каждую сторону от шва на 1...2 мм и иметь усиление высотой 1...3 мм. Параметры режима сварки представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры режима сварки

Параметры	Наименование слоя шва		
	Заполняющие	Последующие заполняющие	Облицовочный
«Скорость подачи электродной проволоки, см/мин	1000 -1150* 690-910**	1000-1150* 600-1000**	800-1000* 600-750**
Сила тока, А	190-220* 140-180**	190-220* 140-180**	190-220* 140-180**
Напряжение на дуге, В	21-24	21-24	21-23
Вылет электродной проволоки, мм	13,0	13,0	9,5
Скорость сварки, см/мин	43 -51* 25 -40**	43 -51* 25 -40**	43 -51* 25 -40**
Расход газа, л/мин	19 -32		
Угол наклона электродной проволоки (вперёд)	0°-7°		
Частота колебаний электродной проволоки, мин ⁻¹	140-190	140-190	110-160
Амплитуда колебаний	Регулируется по ширине разделки		
Защитный газ» [20]	80% Ar+20% CO ₂	80% Ar+20% CO ₂	80% Ar+20% CO ₂
* - в пространственном положении от 0 ⁰⁰ до 4 ⁰⁰ часов и от 12 ⁰⁰ до 8 ⁰⁰ часов. ** - в пространственном положении от 4 ⁰⁰ до 6 ⁰⁰ часов и от 8 ⁰⁰ до 6 ⁰⁰ часов.			

При выполнении сварного шва следует обеспечить смещение слоёв на расстояние не менее 100 мм. После того, как сварен каждый слой, его следует зачистить до металлического блеска с применением щёток и абразивных кругов, удаляя шлак и брызги.

После сварки облицовочного слоя шва следует выполнить шлифовку участков с грубой чешуйчатостью и участков с превышением усиления более 3 мм.

При сварке следует вести пооперационный контроль внешним осмотром после выполнения каждого слоя шва. По мере выявления следует устранять поверхностные дефекты.

После сварки следует провести зашлифовывание поверхности труб металлическими щетками на расстояние от шва 10 мм в обе стороны.

Выводы по второму разделу

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества при сварке магистрального газопровода диаметром 1420 мм.

По результатам анализа состояния вопроса при выполнении исполнительского (второго) раздела были решены задачи выпускной квалификационной работы:

- выполнить анализ преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок для случая сварки магистрального газопровода;
- назначить оптимальные параметры режима сварки и построить карту технологического процесса сварки магистрального трубопровода;
- провести выбор сварочного оборудования и материалов.

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов сварки магистрального трубопровода. Были приняты к рассмотрению следующие способы: ручная дуговая сварка, автоматическая сварка под слоем флюса, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка самозащитной порошковой проволокой. По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать механизированную и автоматическую сварку в защитных газах.

Решая вторую задачу, были назначены оптимальные параметры режима сварки и составлена карта технологического процесса сварки магистрального трубопровода.

Решая третью задачу, было подобрано оборудование для осуществления проектной технологии с применением механизированной и автоматической сварки в защитных газах.

3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов.

При выполнении базовой технологии предусматривается применение ручной дуговой сварки штучными электродами. Проектная технология сварки предусматривает применение механизированной и автоматической сварки в защитных газах.

При выполнении проектной технологии предусмотрены следующие операции технологического процесса: подготовка кромок, сборка, предварительный подогрев, сварка (корневой слой шва, заполняющие слои, облицовочный слой), зачистка, контроль качества.

Изменение технологии восстановительной сварки сопровождается изменением опасных и вредных производственных факторов, которые оказывают негативное воздействие на персонал и окружающую среду. Поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы предстоит выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, оценить их влияние и предложить меры по защите от них персонала.

Кроме того, предстоящий анализ позволит не только устранить профессиональные риски, но и повысить пожарную безопасность технического объекта, паспорт которого представлен в таблице 11.

Технологический паспорт объекта – участка для строительства магистрального трубопровода – позволяет разделить технологический процесс по операциям и указать для каждой операции применяемое оборудование. Также для каждой операции указывается привлекаемый

персонал, который может оказаться под негативным воздействием опасных и вредных факторов, сопровождающих выполнение данной операции технологического процесса.

Разделение проектного технологического процесса на операции позволяет идентифицировать профессиональные риски на каждой операции и обосновать выбор средства защиты от них.

Дальнейшие работы будут направлены на идентификацию персональных рисков, для устранения которых будут предложены технологические и организационные мероприятия. Также будут предложены работы по обеспечению пожарной и экологической безопасности производства.

Таблица 11 – Технологический паспорт участка сварки магистрального трубопровода

«Составляющая технологический процесс операция»	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества» [6]
«подготовка кромок	Слесарь-сборщик	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная	СОЖ, абразивный круг
сборка	Слесарь-сборщик	Центратор типа ЦН	Сжатый воздух
предварительный подогрев	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Подогреватель стыков индукционный	-
сварка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Источник питания сварочной дуги, центратор типа ЦН, сварочный полуавтомат	Проволока присадочная, электроды LB-62
зачистка	Слесарь-сборщик	машинка шлифовальная, зубило, молоток	Абразивный круг
контроль качества» [20]	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат рентгеновский Арина 7	Плѐнка типа РП

Также анализ проектной технологии позволит выявить негативные факторы, влияние которых на атмосферу, гидросферу и литосферу следует устранить в рамках повышения экологической ответственности.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Профессиональные заболевания и травмы работников, которые были задействованы при выполнении проектного технологического процесса, возникают в результате негативного действия факторов, являющихся профессиональными рисками. При этом воздействия, вызывающие резкое ухудшение состояния человека, травмы и гибель, относятся к опасным производственным факторам. Воздействия, вызывающие появление у работников хронических заболеваний, относятся к вредным производственным факторам.

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 12.

На основании данных таблицы 12 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев;
- механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования;
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам;
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока;
- нагрев поверхности деталей до высоких температур;
- инфракрасное излучение;
- ультрафиолетовое излучение
- радиоактивное излучение.

Таблица 12 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

«Операция технологического процесса»	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [6]
«подготовка кромок	- 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	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная
сборка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	Центратор типа ЦН
предварительный подогрев	- 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;	Подогреватель стыков индукционный
сварка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение,	Источник питания сварочной дуги, центратор типа ЦН, сварочный полуавтомат
зачистка	- 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	машинка шлифовальная, зубило, молоток
контроль качества» [20]	- радиоактивное излучение	Аппарат рентгеновский Арина 7

В результате дальнейшего анализа перечисленных негативных факторов могут быть предложены стандартные решения, позволяющие уменьшить их влияние на работающий персонал до приемлемого уровня.

3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов

Ранее были выделены опасные и вредные производственные факторы, которые оказывают негативное воздействие на работающий персонал в ходе выполнения каждой операции проектного технологического процесса.

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [3], [6] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 13, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Для уменьшения профессиональных рисков предлагается:

- проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда;
- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;
- оснащение оборудования защитной блокировкой;
- установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону;
- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства;
- применение устройств защитного отключения электропитания оборудования;
- применение защитного заземления и зануления оборудования;
- контроль состояния защитных устройств и изоляции;
- инструктаж по электробезопасности;
- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения;
- автоматизация технологических процессов.

Таблица 13 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

«Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [6]
наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	<ul style="list-style-type: none"> - проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> - установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону; - применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности; - оснащение оборудования защитной блокировкой 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты
опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	<ul style="list-style-type: none"> - применение устройств защитного отключения электропитания оборудования; - применение защитного заземления и зануления оборудования; - контроль состояния защитных устройств и изоляции; - инструктаж по электробезопасности 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
нагрев поверхности деталей до высоких температур	<ul style="list-style-type: none"> - автоматизация технологических процессов; - инструктаж персонала 	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
инфракрасное излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультрафиолетовое излучение	- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
радиоактивное излучение	- уменьшение времени негативного воздействия	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

Представленные в таблице технические средства и организационные мероприятия направлены на снижение травматизма работников производства и уровня профессиональных заболеваний.

Однако реализация проектной технологии не только сопровождается появлением опасных и вредных производственных факторов, но и риском образования пожаров, в результате которых могут пострадать как сами работники, так и имущество предприятия.

Исходя из этого, дальнейшие работы при выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы направим в сторону обеспечения пожарной безопасности.

3.4 Пожарная безопасность на производстве

Проектная технология, предложенная в настоящей выпускной квалификационной работе, является источником возникновения рисков образования пожара. Для устранения этих рисков следует предложить технические средства и организационные мероприятия. Также следует рассмотреть возможность устранения пожара, если он всё-таки возникнет на предприятии, несмотря на принятые меры.

В качестве основных негативных факторов возможного пожара следует отметить: пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму.

В качестве сопутствующих проявлений пожара следует отметить: негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания.

В таблице 14 представлена идентификация факторов пожара.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 15.

Таблица 14 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок с установленным на нём технологическим оборудованием	Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [6]	Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания

Таблица 15 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [6]
Сборка и сварка при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов	- Проведение «ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. - Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [6]	- Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. - На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения.

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 16. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 16 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства для тушения	Стационарные системы и установки для тушения	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-15	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка извещения о пожаре

Таким образом, предложенные в выпускной квалификационной работе мероприятия позволяют уменьшить риск возникновения пожара на предприятии при реализации проектной технологии.

3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

При реализации предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений возникают не только опасные и вредные производственные факторы, но происходит негативное воздействие на окружающую среду. Борьбе с опасными и вредными производственными факторами посвящена предыдущая часть раздела. Устранению негативных антропогенных воздействий посвящена настоящая часть раздела. Необходимость повышения экологической ответственности предприятий повышает актуальность экологической повестки и заставляет принимать меры по защите атмосферы, гидросферы и литосферы.

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 13.

Действие негативных факторов производства на атмосферу, гидросферу и литосферу следует уменьшить, для чего предусмотрены мероприятия, приведённые в таблице 17.

Таблица 17 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

Технологический процесс	Операции, технологического процесса	Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду		
		в атмосфере	в гидросфере	в литосфере
Сборка и сварка при строительстве и ремонте магистральных трубопроводов	«подготовка кромок	-	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
	сборка	-	масло,	, частицы упаковки, бытовой мусор
	предварительный подогрев	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
	сварка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	зачистка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	контроль качества» [20]	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 18 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [3]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [3]
За счёт чего снижается антропогенное 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» [3]

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Выводы по экологическому разделу

В выполнении исполнительского раздела выпускной квалификационной работы была составлена технология сварки при строительстве и ремонте магистрального трубопровода. В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

Реализация проектной технологии приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых позволила предложить стандартные технические и организационные решения.

Идентификация опасных факторов пожара на рассматриваемом предприятии позволила предложить мероприятия и технические решения по устранению опасности возгорания. Также в настоящем разделе предложены средства борьбы с пожаром, если он все-таки произошёл несмотря на принятые меры.

В ходе выполнения экологического раздела установлено, что осуществление проектной технологии приводит к негативному антропогенному воздействию на окружающую среду. При этом страдают атмосфера, гидросфера и литосфера. Предлагаемые в работе мероприятия позволяют соответствовать предприятию современной экологической повестке и свести к минимуму вред окружающей среде.

Все предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения и организационные мероприятия являются стандартными и не требуют повышения эффективности за счёт разработки специализированных средств и методик.

Таким образом, предложенные в исполнительском разделе выпускной квалификационной работы технические решения не несут недопустимых профессиональных рисков и не оказывают недопустимого антропогенного действия на окружающую среду.

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений

4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности

В настоящей выпускной квалификационной работе решены задачи по повышению эффективности сварочных работ, выполняемых в процессе ремонта и сварки магистральных трубопроводов.

Базовая технология выполняется с использованием ручной дуговой сварки штучными электродами. Построение проектной технологии выполнено на основе применения механизированной и автоматической сварки в защитных газах.

Недостатки базовой технологии:

- повышенный расход дорогостоящих электродов из-за разбрызгивания, угара и огарков;
- низкая производительность ручной дуговой сварки, которая оказывается критичной при большом объёме выполняемых работ. В настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы повышения эффективности за счёт оптимизации параметров режима, дальнейшее форсирование режимов наплавки и сварки не представляется возможным;
- низкую стабильность качества, которая получается вследствие пористости, непроваров и трещин;
- вредные условия труда сварщика, которому приходится выполнять сварку в атмосфере сварочного аэрозоля.

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 19 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.

Таблица 19 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

«Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики» [9]	
			Базовая технология	Проектная технология
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования: - трубрезный станок - источник питания - установка «Кроулер» С-300 - центратор внешний - газовый подогреватель стыка - установка УЗК	$C_{об}$	руб.	4800 тыс.	6300 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Общая мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	200	200
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$C_{э-э}$	Р/ кВт	3,2	3,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$C_{пл}$	Р/ m^2	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [9]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

При расчётах предстоит определить фонд времени работы оборудования, оценить себестоимость проведения работ по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитать капитальные затраты.

4.2 Расчёт объёмов фонда времени

Выполнение операций согласно проектной и базовой технологий предусматривает использование материальных и людских ресурсов в течение определённого количества времени. В зависимости от затрачиваемого времени рассчитывается заработная плата персонала, который задействован при выполнении операций технологического процесса. Также затрачиваемое время влияет на величину расходов на амортизацию оборудования и производственные площади.

В настоящем разделе выполним расчёт фонда времени, который одинаков для проектного и базового вариантов технологического процесса, так как в обоих случаях технология выполняется за одинаковое число смен в сутках.

В календарном году принимается число рабочих дней $D_p = 277$ при стандартной продолжительности смены $T_{см} = 8$ часов. При расчётах следует учитывать сокращение длительности рабочей смены в предпраздничные дни на $T_{п} = 1$ час. Планируемое количество предпраздничных дней составляет $D_{п} = 7$. С учётом вышеизложенного для количества смен $K_{см} = 1$ рассчитаем фонд времени, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (1) получаем:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ часов.}$$

Далее следует рассчитать величину эффективного фонда времени с учётом запланированных потерь рабочего времени $B = 7 \%$, воспользовавшись формулой:

$$F_э = F_H(1 - B/100). \quad (2)$$

При подстановке исходных значений в формулу (2) получаем:

$$F_э = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108 \text{ часов.}$$

4.3 Расчёт штучного времени

Расчитанный выше эффективный фонд времени работы оборудования расходуется на выполнение операций проектного и базового технологического процесса. Годовую программы выполнения работ можно рассчитать, зная штучное время, которое определяет временные затраты на выполнение проектного и базового процессов применительно к одной единице изделия из годовой программы. Величину штучного времени для проектного и базового вариантов технологии определяем с учётом нормирования труда сварщика по технологической карте.

В состав штучного времени $t_{шт}$ входит несколько слагаемых. Во-первых, это машинное время $t_{маш}$, которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Во-вторых, это вспомогательное время $t_{всп}$, которое затрачивается на выполнение подготовительных операций и задаётся как 10 % от машинного времени $t_{маш}$. В-третьих, это время обслуживания рабочего места $t_{обсл}$, которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{маш}$. В-четвёртых, это время личного отдыха $t_{отд}$, которое задаётся как 5 % от машинного времени $t_{маш}$. В пятых, это подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$, которое задаётся как 1% от машинного времени $t_{маш}$. С учётом исходных данных расчёт штучного времени проводим, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (3) получаем для базового варианта: $t_{шт.баз} = 2,01 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 2,5$ часов, проектного варианта: $t_{шт.пр} = 1,49 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1,8$ часа.

Вычисление годовой программы Π_r работ выполняем с учётом определённых выше эффективного фонда времени и штучного времени для проектного и базового вариантов, воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (4) получаем для базового варианта: $\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 4108/2,5 = 1643$ стыка за год,
проектного варианта: $\Pi_{\Gamma.\text{пр.}} = 4108/1,8 = 2282$ стыка за год.

При проведении последующих экономических расчетов примем годовую программу для проектного и базового вариантов технологии $\Pi_{\Gamma} = 1500$ стыков за год, что примерно соответствует современным потребностям отрасли.

Для расчёта требуемого количества оборудования, которое необходимо при выполнении годовой программы с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}} = 1,03$, воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем для базового варианта: $n_{\text{расч}} = 2,5 \cdot 1500 / (4108 \cdot 1,03) = 0,9$,
проектного варианта: $n_{\text{расч}} = 1,8 \cdot 1500 / (4108 \cdot 1,03) = 0,6$.

На основании проведённых расчётов принимаем количество единиц технологического оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса согласно проектного и базового вариантов $n = 1$. Для расчёта коэффициента загрузки оборудования в обоих вариантах технологии воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (6) получаем для базового варианта: $K_{\text{э.б.}} = 0,9/1 = 0,9$; проектного варианта: $K_{\text{э.п.}} = 0,6/1 = 0,6$.

Определённые выше значения штучного времени $t_{\text{шт.}}$, годовой программы Π_{Γ} , коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{з}}$ будут использованы при дальнейших экономических расчётах.

4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии

Проведение операции сварки требует затрат сварочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служат сварочные электроды. При проектной технологии сварочными материалами служат проволока и защитный газ. При расчёте затрат на материалы следует принимать во внимание, что низкое качество сварочных работ по базовой технологии приводит к перерасходу сварочных материалов из-за необходимости исправления брака. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты M на материалы с учётом цены материалов C_M , нормы расхода материалов N_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$, воспользовавшись формулой:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем:

$$M_{\text{баз.}} = 300 \cdot 12,75 \cdot 1,05 = 4016 \text{ руб.}; M_{\text{пр.}} = 300 \cdot 9,18 \cdot 1,05 = 2892 \text{ руб.}$$

Расчёт основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ выполняем по ранее определённым величинам штучного времени $t_{\text{шт}}$, коэффициента доплат K_d и часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$. Для этого воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (8) получаем для базового варианта технологии: $Z_{\text{осн}} = 2,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 940$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{\text{осн}} = 1,8 \cdot 200 \cdot 1,88 = 676$ руб.

Расчёт дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ проводим с использованием ранее определённого значения основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ для проектного и базового вариантов и с учётом коэффициента дополнительных доплат $K_{\text{доп}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 940 \cdot 12 / 100 = 112$ руб.; проектного варианта технологии: $Z_{\text{доп}} = 676 \cdot 12 / 100 = 81$ руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$. При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 940 + 112 = 1052$ руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил: $\text{ФЗП} = 676 + 81 = 758$ руб.

Величину отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяем с учётом ранее рассчитанного фонда заработной платы ФЗП и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем для базового варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 1052 \cdot 34 / 100 = 358$ руб.; для проектного варианта технологии: $O_{\text{сн}} = 758 \cdot 34 / 100 = 258$ руб.

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ рассчитываем с учётом амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

Величину амортизационных отчислений определим с учётом нормы амортизации $H_{\text{а}}$, цены оборудования $\Pi_{\text{об}}$ для выполнения операций по базовому и проектному вариантам и машинного времени $t_{\text{маш}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта: $A_{об.} = 4800000 \cdot 21,5 \cdot 2,5 / 4108 / 100 = 628$ руб.; для проектного варианта: $A_{об.} = 6300000 \cdot 21,5 \cdot 1,8 / 4108 / 100 = 593$ руб.

Расчёт затрат на электрическую энергию $P_{э}$, выполняем с учётом установленной мощности оборудования $M_{уст}$, цены электрической энергии для промышленных предприятий $C_{ээ}$ и коэффициента полезного действия КПД для рассчитанного выше штучного времени $t_{шт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{ээ} / \text{КПД}. \quad (13)$$

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта: $P_{ээ} = 200 \cdot 2,5 \cdot 3,2 / 0,7 = 1250$ руб. Для проектного варианта получаем: $P_{ээ} = 200 \cdot 1,8 \cdot 3,2 / 0,7 = 900$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта: $Z_{об} = 628 + 1250 = 1878$ руб. Для проектного варианта технологии получаем: $Z_{об} = 593 + 900 = 1493$ руб.

Величину технологической себестоимости $C_{тех}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим как сумму затрат на материалы M , фонд заработной платы ФЗП, отчисления на социальные нужды $O_{сн}$ и затраты на оборудование $Z_{об}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта: $C_{тех.} = 4016 + 1052 + 358 + 1878 = 7304$ руб. Для проектного варианта: $C_{тех.} = 2892 + 758 + 258 + 1493 = 5401$ руб.

Величину цеховой себестоимости $C_{цех}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной технологической

себестоимости $C_{\text{тех}}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового: $C_{\text{цех}} = 7304 + 1,5 \cdot 940 = 7304 + 1410 = 8714$ руб. Для проектного: $C_{\text{цех}} = 5401 + 1,5 \cdot 676 = 5401 + 1014 = 6415$ руб.

Величину заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ при выполнении производственного процесса по базовому и проектному вариантам технологии определим с учётом ранее рассчитанной цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и коэффициента заводских расходов $K_{\text{зав}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (16) получаем для базового: $C_{\text{зав}} = 8714 + 1,15 \cdot 940 = 8714 + 1081 = 9795$ руб. Для проектного: $C_{\text{зав}} = 6415 + 1,15 \cdot 676 = 6415 + 777 = 7192$ руб.

В таблице 18 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 18 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. «Затраты на материалы	М	4016	2892
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	1052	758
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	358	258
4. Затраты на оборудование	Зоб	1878	1493
5. Технологическая себестоимость	Стех	7304	5401
6. Объём цеховых расходов	Рцех	1410	1014
7. Цеховая себестоимость	Сцех	8714	6415
8. Объём заводских расходов	Рзав	1081	777
9. Заводская себестоимость» [10]	$C_{\text{зав}}$	9795	7192

Как видно из таблицы 18, проведение производственного процесса по проектной технологии характеризуется меньшей заводской себестоимостью.

4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии

Вычисление общих капитальных затрат $K_{\text{общ. б.}}$ при проведении производственного процесса по базовому варианту технологии проводится с использованием рассчитанного ранее коэффициента загрузки оборудования $K_{з.б.}$ и остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Величину остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$, которое было использовано в производственном процессе при осуществлении базового варианта технологии рассчитываем с учётом срока службы $T_{\text{сл}}$, рыночной стоимости нового оборудования $\Pi_{\text{перв}}$ и нормы амортизационных отчислений H_a . При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

При подстановке исходных значений в формулу (18) получаем остаточную стоимость $\Pi_{\text{об.б.}} = 4800000 - (4800000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 2736000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем величину общих капитальных затрат $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 2736000 \cdot 0,9 = 2462400$ руб.

Вычисление общих капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ при проведении производственного процесса по проектному варианту технологии проводится с учётом капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об. пр.}}$ и сопутствующих затрат $K_{\text{соп.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

Объём капитальных вложений в оборудование $K_{об}$ при осуществлении проектного технологического процесса рассчитывается с учётом цены оборудования $C_{об}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{з.п.}$, который был рассчитан ранее. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (20) капитальные вложения в оборудование $K_{об.пр.} = 6300000 \cdot 1,05 \cdot 0,6 = 3969000$ руб.

Объём сопутствующих затрат $K_{соп}$ при проведении производственного процесса по проектной технологии вычисляется с учётом расходов на монтаж $P_{монт}$ проектного оборудования и демонтаж $P_{дем}$ базового оборудования. При расчётах воспользуемся формулой:

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

Расходы на демонтаж $P_{дем}$ определяются исходя из стоимости оборудования по базовому варианту с учётом коэффициента затрат на демонтаж $K_{дем}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (22) расходы на демонтаж оборудования составили: $P_{дем} = 4800000 \cdot 0,05 = 240000$ руб.

Расходы на монтаж $P_{монт}$ определяются исходя из стоимости оборудования по проектному варианту с учётом коэффициента затрат на монтаж $K_{монт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (23) расходы на монтаж оборудования составили: $P_{монт} = 6300000 \cdot 0,05 = 315000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) сопутствующие расходы составили: $P_{\text{соп}} = 240000 + 315000 = 555000$ руб.

При подстановке исходных значений в формулу (19) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили: $K_{\text{общ.пр.}} = 3969000 + 555000 = 4251000$ руб.

Дополнительные капитальные затраты при внедрении проектной технологии рассчитываются с учётом общих капитальных затрат при проектном варианте $K_{\text{общ.пр.}}$ и общих капитальных затрат при базовом варианте $K_{\text{общ.б.}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (24) дополнительные капитальные вложения составят: $K_{\text{доп}} = 4251000 - 2462400 = 1788600$ руб.

Размер удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ при построении технологии по базовому и проектному вариантам рассчитываются исходя из годовой программы Π_r и общих капитальных вложений. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (25) удельные капитальные вложения по базовому: $K_{\text{уд}} = 4251000/1500 = 2834$ руб./ед. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют: $K_{\text{уд}} = 2462400/1500 = 1641$ руб./ед.

4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям:

- снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$;
- повышение производительности труда P_T ;
- снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$;
- условно-годовая экономия $P_{ок}$;
- срок окупаемости капитальных вложений $T_{ок}$;
- годовой экономический эффект $\mathcal{E}_г$.

За счёт совершенствования технологического процесса получено снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$, которое рассчитывается по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по базовому варианту $t_{шт.б.}$ и по штучному времени в случае выполнения производственного процесса по проектному варианту $t_{шт.пр.}$ При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (26) снижение трудоёмкости составило: $\Delta t_{шт} = (2,5 - 1,8) \cdot 100 \% / 2,5 = 28 \%$.

Расчёт повышения производительности труда P_T выполняется с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$. При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (27) повышение производительности труда составило: $P_T = 100 \cdot 28 / (100 - 28) = 38 \%$.

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ выполняем с учётом ранее определённых технологической себестоимости по базовому варианту технологии $C_{тех.б.}$ и технологической себестоимости по проектному варианту технологии $C_{тех.пр.}$ При расчётах воспользуемся формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило: $\Delta C_{\text{тех}} = (7304 - 5401) \cdot 100\% / 7304 = 26 \%$.

Расчёт условно-годовой экономии $\Pi_{\text{ож}}$ выполним с учётом годовой программы $\Pi_{\text{г}}$, заводской себестоимости по проектному варианту $C_{\text{зав.пр}}$ и заводской себестоимости по базовому варианту $C_{\text{зав.б}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\Pi_{\text{ож}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}}) \cdot \Pi_{\text{г}}. \quad (29)$$

При подстановке исходных значений в формулу (29) условно-годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (9795 - 7192) \cdot 1500 = 3904500$ руб.

При расчёте срока окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ учитывается размер дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$ и величина условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}}. \quad (30)$$

При подстановке исходных значений в формулу (30) срок окупаемости дополнительных составил: $T_{\text{ок}} = 2462400 / 3904500 = 0,6$ года.

Расчёт годового экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{г}}$ при внедрении предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений выполняется с учётом рассчитанных ранее условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$, дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ и коэффициента эффективности капитальных вложений $E_{\text{н}}$. При расчётах воспользуемся формулой:

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

При подстановке исходных значений в формулу (31) годовая экономия составила: $\mathcal{E}_{\text{г}} = 3904500 - 0,33 \cdot 2462400 = 3091908$ руб.

Таким образом, проектная технология показывает свою эффективность по всем показателям и может быть рекомендована к внедрению.

Выводы по экономическому разделу

В ходе выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы рассмотрены варианты построения производственного процесса с применением базовой технологии и с применением проектной технологии.

Для проектной и базовой технологии были рассчитаны основные экономические показатели (штучное время; технологическая, цеховая и заводская себестоимость, капитальные вложения).

Оценку экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту выполняем по таким показателям, как снижение трудоёмкости, повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, условно-годовая экономия, срок окупаемости капитальных вложений, годовой экономический эффект.

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 28 % и увеличить производительность на 38 %.

За счёт предложенных в выпускной квалификационной работе решений достигнуто уменьшение расходов по статьям, это позволило уменьшить технологическую себестоимость на 26%. При этом условно-годовая экономия составила 3,9 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,6 года. При этом годовой экономический эффект составит 3,1 млн. рублей.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность построения производственного процесса по проектной технологии. Представленные в выпускной квалификационной работе технические решения могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях Российской Федерации.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества при сварке магистрального газопровода диаметром 1420 мм.

По результатам анализа состояния вопроса при выполнении исполнительского (второго) раздела были решены задачи выпускной квалификационной работы.

Первая задача – выполнить анализ преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки и выполнить выбор с учётом выставленных экспертных оценок для случая сварки магистрального газопровода.

Вторая задача – назначить оптимальные параметры режима сварки и построить карту технологического процесса сварки магистрального трубопровода.

Третья задача – провести выбор сварочного оборудования и материалов.

Решая первую задачу, проведён предварительный анализ возможных способов сварки магистрального трубопровода. В качестве альтернативных способов, рассмотрены: ручная дуговая сварка, автоматическая сварка под слоем флюса, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка самозащитной порошковой проволокой. Для этих способов выполнена экспертная оценка преимуществ и недостатков, на основании которой принято решение построение проектной технологии проводить на основе механизированной и автоматической сварки в защитных газах.

Решая вторую задачу, была составлена очерёдность выполнения операций технологического процесса, сформулированы требования к этим операциям и назначены оптимальные параметры режима сварки.

Решая третью задачу, было подобрано оборудование и сварочные материалы для осуществления проектной технологии.

В оценочной части выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности. Предложены мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду.

Также в оценочной части выполнена оценка экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту. Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 28 % и увеличить производительность на 38 %. За счёт предложенных в выпускной квалификационной работе решений достигнуто уменьшение расходов по статьям, это позволило уменьшить технологическую себестоимость на 26%. Рассчитанная экономическая эффективность составляет 3,1 млн. рублей в год.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность построения производственного процесса по проектной технологии. Представленные в выпускной квалификационной работе технические решения могут быть рекомендованы к внедрению на предприятиях Российской Федерации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Контроль качества сварочных работ. М. : Высшая школа, 1986. 207 с.
2. Белинский С. М., Гарбуль А. Ф., Гусаковский В. Г. Оборудование для дуговой сварки : справ. пособие. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
4. Бут В. С., Олейник О. И. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 42–50.
5. Волченко В. Н. Контроль качества сварных конструкций. М. : Машиностроение, 1986. 152 с.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Иванов, А.Ю Обеспечение комплекса механических свойств зоны термического влияния сварных соединений труб классов прочности Х80, Х90 на основе исследования фазовых превращений и структуры: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Санкт-Петербург: «Прометей». – 2011.
8. Иванов А. Ю., Сулягин Р. В., Орлов В. В. Исследование структуры зоны термического влияния сварного соединения из стали класса прочности Х80 после имитационного моделирования термических воздействий // Вопросы материаловедения. 2010. № 1. С. 31–39.
9. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
10. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

11. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
12. Морозов Ю. Д., Матросов Ю. И., Эфрон Л. И. Новые стали категории прочности К65 (X80) для труб магистральных газопроводов: разработка и опробование : Сб. докладов. М. : Metallurgizdat, 2006. с. 8–13.
13. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов А. Д. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
14. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М. : Машиностроение, 1974. 240 с.
15. Пряхин Е. И., Шарапова Д. М. К вопросу деградации свойств низколегированных конструкционных сталей при кратковременных нагревах // Metallurgiya i materialovedenie. 2014. № 1. С. 121–129.
16. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.
17. Русакова В. В., Лобанова Т. Л. Перспективы применения высокопрочных труб категории прочности К65 (X80) для проектов дальнего транспорта газа // Наука и техника газовой промышленности. 2009. № 1, С. 4–7.
18. Рухлин Г.В. Анализ конкурентной ситуации на рынке сварочного оборудования и материалов стран Азиатско-Тихоокеанского региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2010. № 6. С. 120–127.
19. Рыбин В. В., Малышевский В. А., Хлусова Е. И. Высокопрочные стали для магистральных трубопроводов // Вопросы материаловедения. 2009. № 3. С. 127–137.

20. СТО Газпром 2-2.3-231-2008 Правила производства работ при капитальном ремонте линейной части магистральных газопроводов ОАО «Газпром» (утвержден ОАО «Газпром» 04.04.2008 г.)

21. Столяров В. И., Пышминцев И. Ю., Ефименко Л. А. Свариваемость высокопрочных сталей для газопроводных труб большого диаметра // Проблемы черной металлургии и материаловедения. 2006. № 3. С. 39–47.

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

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

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