

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 полимерного трубопровода

Студент

А.М. Чудинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.И. Плахотный

(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

Решение проблем трубопроводного транспорта лежит в области применения трубопроводов из полимерных материалов. Строительство полимерных трубопроводов позволяет существенно снизить затраты на материалы за счёт отказа от применения дорогостоящих сталей. Также следует ожидать повышения производительности прокладки трубопроводов, снижения объемов земляных работ.

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель – повышение производительности и качества сварочных работ при строительстве трубопроводов из полимерных материалов.

На основании анализа способов сварки полимерных материалов принято решение использовать сварку нагретым инструментом. Для обеспечения качества сварки предложен способ, разработанный отечественными исследователями сварщиками.

Предложены мероприятия по защите рабочего персонала и предприятия от возникающих пожаров, что выполнено путём идентификации опасных факторов пожара и назначения способов устранения этих факторов.

Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 0,917 млн. рублей. Затраты на внедрение проектной технологии окупятся за 0,2 года.

Результаты выпускной квалификационной работы предлагаются к внедрению на предприятиях, выполняющих прокладку полимерных трубопроводов.

## Содержание

Введение .....	5
1 Анализ современного состояния строительства трубопроводов из полимерных материалов. ....	7
1.1 Описание исходного трубопровода. ....	7
1.2 Сведения о материале трубопровода, прокладываемого по базовой технологии. ....	10
1.3 Описание технологических операций базового процесса сварки трубопровода. ....	21
1.4 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы. ....	19
2 Построение проектной технологии сварки трубопровода из полимерных труб. ....	22
2.1 Обоснование выбора материала трубопровода. ....	22
2.2 Обоснование выбора способа сварки. ....	25
2.3 Операции проектного технологического процесса сварки. ....	31
2.4 Оборудование для сварки. ....	35
2.5 Способ сварки. ....	37
3 Безопасность и экологичность технического объекта. ....	41
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	41
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	42
3.3 Предлагаемые технологические и организационные мероприятия для снижения профессиональных рисков. ....	43
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	45
3.5 Обеспечение экологической безопасности производства .....	47
4 Экономическое обоснование предлагаемых решений. ....	50
4.1 Исходные данные для проведения экономических расчётов. ....	50
4.2 Оценка фонда времени работы технологического оборудования. .	52
4.3 Расчет штучного времени .....	53

4.4 Расчёт заводской себестоимости вариантов технологии. . . . .	54
4.5 Оценка капитальных затрат по базовой и проектной технологиям. . . . .	59
4.6 Расчёт показателей экономической эффективности. . . . .	61
Заключение . . . . .	64
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	66

## Введение

Российская Федерация является страной, имеющей самую большую протяжённость действующих трубопроводов. Суммарная протяжённость действующих трубопроводов составляет более 15 млн. км, из которых на нефтегазовый сектор приходится порядка 500 тыс. км [19]. Длительная эксплуатация трубопроводов такой протяжённости привела к тому, что по степени изношенности Российская Федерация также лидирует. При этом большая часть магистральных трубопроводов построена 30 и даже 50 лет назад. Нефтепромысловые трубопроводы работают в условиях воздействия агрессивных сред и серьёзного коррозионного воздействия, что приводит к ежегодно к 40...70 тысячам отказов, сопровождающихся разливом транспортируемого продукта, причинением существенного экологического ущерба и необходимости трудоёмкого устранения последствий аварии. На промышленных трубопроводах физический износ труб достигает 60 % [1], [2], [19].

С учётом экономической и политической специфики можно обозначить ряд проблем, перед которыми стоит современный нефтегазовый сектор Российской Федерации. Первой проблемой является рост курса иностранной валюты по отношению к российскому рублю, что приводит к увеличению стоимости проведения ремонтных и профилактических работ с применением иностранного оборудования и материалов. Второй проблемой является уменьшение цены энергоносителей на мировых рынках, что вызывает необходимость снижения себестоимости добычи со всеми вытекающими последствиями. Третьей проблемой является ограничения на поставку в Российскую Федерацию высокотехнологичного оборудования, что заставляет усилить разработку отечественного оборудования и технологий. Четвёртой проблемой является снижение оборотов российской экономики, что существенно снижает эффективность многих технологических мероприятий и заставляет отказываться от них в пользу менее дорогостоящих.

Решение сформулированных проблем лежит в области применения трубопроводов из полимерных материалов. Строительство полимерных трубопроводов позволяет существенно снизить затраты на материалы за счёт отказа от применения дорогостоящих сталей. Также следует ожидать повышения производительности прокладки трубопроводов, снижения объемов земляных работ.

Вопросу строительства трубопроводов из полимерных материалов посвятили свои работы исследователи: К.Я. Капустин, В.Г. Шухов, В.Л. Бажанов, А.Н. Громов, В.Ю. Каргин, Ю.В. Моисеев, В.И. Агапчев, В.С. Ромейко, М.Н. Боктицкий, А.М. Поспелов, В.Е. Удовенко, Б.А. Киселев, А.А. Шевченко, С.А. Рейтлингер и другие исследователи.

Сварка является основным технологическим процессом, определяющих экономические и эксплуатационные показатели полимерного трубопровода. В процессе сварки можно выделить три этапа. Первый этап – это нагрев (активация) свариваемых поверхностей, который обычно выполняется с применением нагретого инструмента. Второй этап – это удаление нагретого инструмента из зоны контакта поверхностей, его ещё называют «технологическая пауза», в ходе этого этапа должна сохраняться высокая температура торцев свариваемых труб. Третий этап - осадка свариваемых труб, которая выполняется путём приложения к ним сжимающего усилия [15].

Значительное влияние на качество выполняемого соединения полимерных труб, структуру и свойства материала соединения оказывают параметры режима сварки [8], [9], [12], [14], [17], [21].

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварочных работ при строительстве трубопроводов из полимерных материалов.

# 1 Анализ современного состояния строительства трубопроводов из полимерных материалов

## 1.1. Описание исходного трубопровода

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос сварки полимерного наружного трубопровода с прокладкой по траншейному типу, который представлен на рисунке 1.

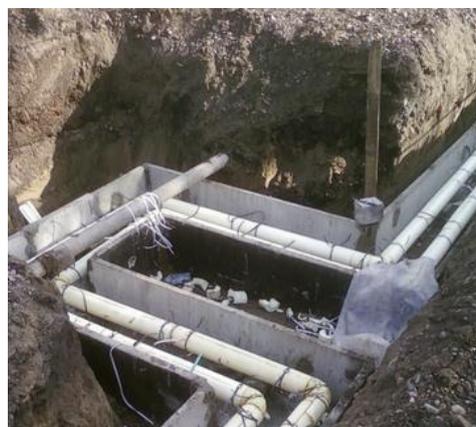


Рисунок 1 – Внешний водопровод траншейного типа

Эксплуатационными параметрами трубопровода являются:

- состав передаваемой среды,
- рабочее давление трубопровода,
- температура передаваемой среды.

Эти эксплуатационные параметры определяют параметры технической характеристики трубопровода, к которым относят:

- проходной диаметр трубы,
- толщину стенки трубопровода,
- материал для изготовления трубы.

В зависимости от группы, к которой относят рассматриваемый трубопровод, выбирают параметры для проведения испытания и контроля трубопровода.

Рассматриваемый трубопровод предназначен для передачи холодной воды коттеджному посёлку. Температура передаваемой жидкости составляет 0...+20 °С, давление в трубопроводе составляет 1,5 МПа.

Классическая технология строительства трубопроводов предусматривает прокладку труб из стали 20. Технология строительства такого трубопровода будет рассмотрена в качестве базового варианта технологии и использована при обосновании экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

Рассматриваемый трубопровод представлен на рисунке 2, его схема включает применение труб диаметром 200, 219 и 300 мм, которые располагают в стальных футлярах. Схема участка трубопровода предусматривает наличие четырёх колодцев.

Подача основного потока воды происходит по трубам, у которых диаметр составляет 300 мм. Общая длина таких труб составляет 500 м.

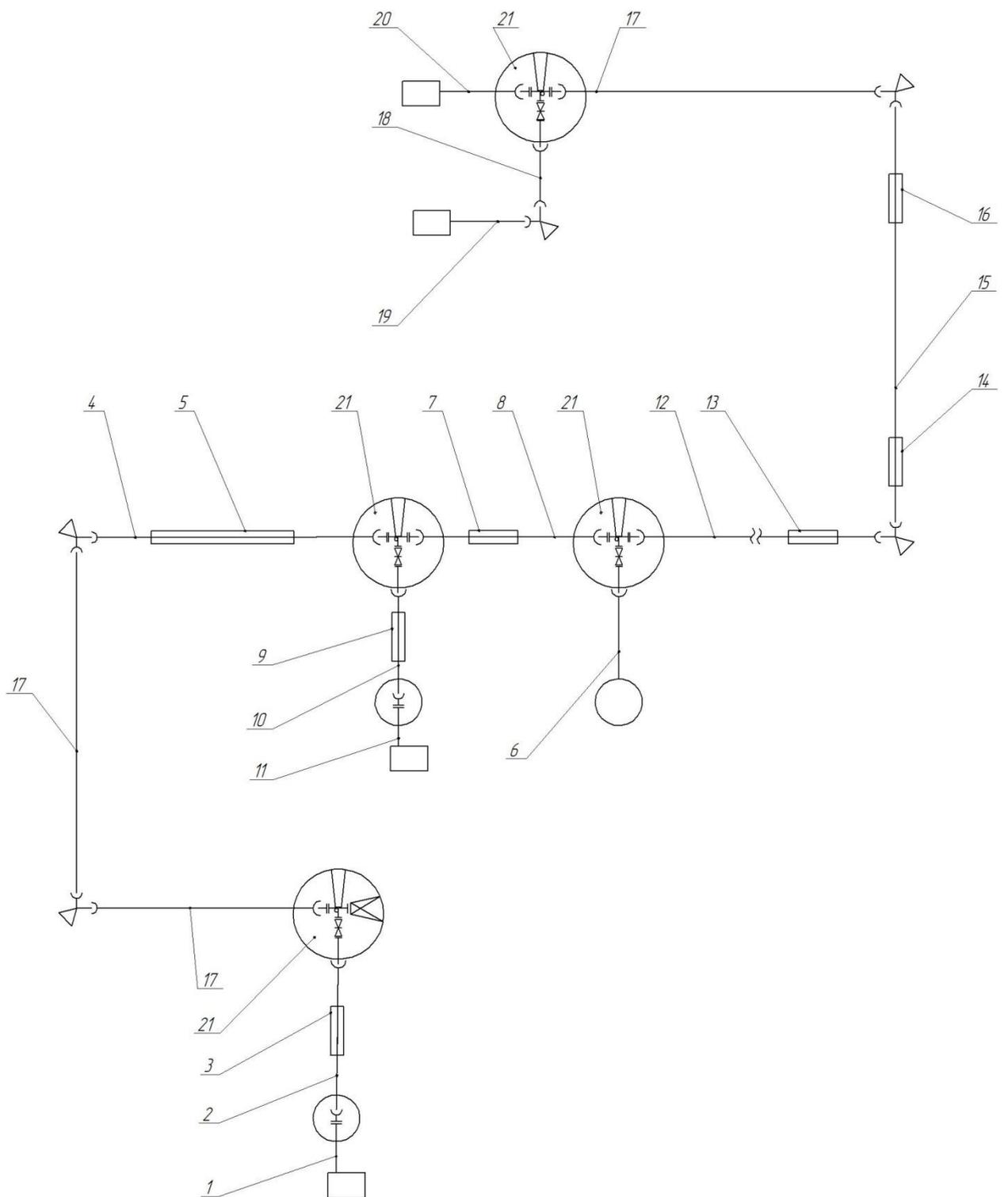
При соединении труб используется стыковое сварное соединение.

Прокладка трубопровода предусматривает возможность применение нескольких способов. К первому способу относится наземная прокладка трубопровода, которая может быть выполнена как с утеплением, так и без утепления. Ко второму способу относится подземная прокладка трубопровода. Третьим способом прокладки трубопровода является траншейная прокладка с применением специальной техники и приспособлений. Четвёртым способом является бестраншейная технология прокладки, которая осуществляется при горизонтальном бурении. Пятым способом является коллекторная прокладка, которая выполняется с применением щитовой проходки.

Водопровод, в зависимости от места прокладки, может быть двух типов.

К первому типу, внутренним водопроводам, относят водопроводы, прокладка которых выполнена внутри зданий и сооружений.

Ко второму типу, наружным водопроводам, относят водопроводы, проложенные вне зданий и сооружений. Как правило, такие водопроводы прокладывают под землей.



- 1 – Труба 219х6-5 м; 2 – Труба 200х6-20 м; 3 – Футляр стальной 630х8-12 м;  
 4 – Труба 300х8-240 м; 5 – Футляр стальной 720х8-92 м; 6 – Труба 300х8-4,5 м;  
 7 – Футляр стальной 570х7-10 м; 8 – Труба 300х8-42 м; 9 – Футляр стальной 630х8-12 м;  
 10 – Труба 200х6-20 м; 11 – Труба 219х6-4 м; 12 – Труба 300х8-78 м; 13 – Футляр стальной  
 570х7-10 м; 14 – Футляр стальной 720х8-17 м; 15 – Труба 300х8-73 м; 16 – Футляр  
 стальной 720х8-8 м; 17 – Труба 300х8-11 м; 18 – Труба 219х6-1 м; 19 – Труба 200х6-2,5 м;  
 20 – Труба 300х8-24 м; 21 – Колодец-4 шт.

Рисунок 2 – Схема трубопровода

## 1.2 Сведения о материале трубопровода, прокладываемого по базовой технологии

Для строительства трубопровода по базовой технологии применяются стальные трубы, которые изготавливаются из стали 20.

Содержание химических элементов в стали 20 представлено в таблице 1. Механические свойства стали 20 представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 20 % согласно ГОСТ 1050-84

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,17-0,24	0,17-0,35	0,35-0,65	до 0,25	до 0,04	до 0,04	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблица 2 – Механические свойства стали при 20оС

Сортамент	Размер, мм	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	КСУ кДж / м <sup>2</sup>
Лист	6-14	393	248	30	50	-

Сталь 20 нашла широко применяется для строительства трубопроводов и в котлостроении.

Цифра «20» в обозначении стали отображает содержание углерода в стали 20, который находится в стали в объёме порядка 0,2%. Углерод отвечает за прочность и твёрдость стали, её коррозионную стойкость. Повышенное содержание углерода может привести к снижению свариваемости, повышению склонности к образованию трещин при сварке. Содержащийся в стали углерод в объёме 0,2% не ухудшает её свариваемости.

Кремний, содержание которого в стали 20 составляет 0,17...0,37 %, отвечает за раскисление (удавление из стали кислорода) и рафинирование (удавление из стали азота). За счёт этого уменьшается пористость при сварке и образование газовых раковин.

Марганец, содержащийся в стали в объёме 0,35...0,65 %, является сильным раскислителем (удаляет из стали кислород). Также марганец удаляет из стали серу, что положительно сказывается на снижении склонности к образованию горячих трещин при сварке.

Никель, хром и медь содержание которых в стали составляет до 0,3 %, повышают коррозионную стойкость стали. Но их малое содержание в стали 20 не позволяет существенно улучшить свойства стали.

Фосфор и сера являются вредными примесями, они повышают склонность стали к образованию горячих трещин при сварке и уменьшают её вязкость, что отрицательно сказывается на прочности при ударных нагрузках. Содержание фосфора и серы в стали 20 ограничено 0,04 % каждого.

Сталь 20 характеризуется высокой пластичностью, умеренными значениями прочности и твёрдости. Поскольку сталь обладает повышенной вязкостью, она хорошо сопротивляется ударным воздействиям. Однако знакопеременные нагрузки сталь 20 переносит относительно плохо. Сваривается сталь 20 без ограничений всеми известными способами сварки.

В настоящее время стальной прокат при производстве трубопроводов холодного и горячего водоснабжения заменяется на трубы из полимерных материалов. Гарантийный срок эксплуатации полимерных водопроводов составляет 30 лет для горячей воды и 50 лет – для холодной воды. Но необходимо учитывать, что действительный срок службы полимерных трубопроводов существенно больше.

Положительными качествами полимерных трубопроводов является их высокая коррозионная стойкость по отношению практически ко всем средам. Кроме того, полимерные трубопроводы более экологичны, так как не поддерживают развитие внутри себя грибков и бактерий. На внутренней поверхности труб не образуется накипи и других отложений, которые могут ухудшить качество воды. Кроме того, гладкая поверхность трубопровода существенно снижает его гидравлическое сопротивление по сравнению со стальными трубопроводами. Пропускная способность полимерного

трубопровода не уменьшается со временем, как это происходит при эксплуатации стальных трубопроводов.

Кроме того, высокая пластичность полимерных трубопроводов позволяет им выдерживать без разрушений растяжение до 7 %. Высокие диэлектрические свойства полимерных трубопроводов позволяют обходиться без защиты от блуждающих токов при прокладке в земле. Полимерная труба способна выдержать кратковременное повышение давления до 40 атмосфер.

Также необходимо учитывать малый удельный вес полимерных труб, что существенно облегчает их доставку на место сборки.

Таким образом, полимерные трубопроводы обладают рядом существенных достоинств по сравнению со стальными трубопроводами [13], [20]:

- высокая долговечность;
- малый удельный вес, что облегчает транспортировку и разгрузку труб;
- высокая коррозионная стойкость;
- высокая гладкость внутренней поверхности трубы и отсутствие зарастания просвета трубы при длительной эксплуатации;
- низкая теплопроводность полимерных труб;
- высокая пропускная способность и малое гидравлическое сопротивление;
- высокие эстетические качества полимерного трубопровода;
- высокая стойкость трубопровода при возникновении внештатных ситуаций.

На основании этого в выпускной квалификационной работе будет рассмотрен вопрос о замене стальных труб при строительстве трубопровода на полимерные трубы.

Изменение в технологии сварки и монтажа трубопровода окупятся за счёт положительных свойств полимерных трубопроводов, которые были описаны выше.

### 1.3 Описание технологических операций базового процесса сварки трубопровода

К сварочным работам при изготовлении, монтаже и ремонте элементов трубопроводов могут быть допущены сварщики, аттестованные на уровень профессиональной подготовки в соответствии с ПБ 03-273-99 и имеющие аттестационное удостоверение, в котором указывается к каким видам работ допущен сварщик (способ сварки, наименование изделий, группа сталей, положение шва в пространстве).

Сварщики всех специальностей и квалификаций, кроме газосварщиков, должны иметь квалификационную группу по электробезопасности не ниже II. Кроме того, все сварщики должны сдать испытания на знание противопожарных мероприятий и требований по безопасности труда.

Для сварки применяются электроды УОНИ 13/45. Перед сваркой производственных стыков и испытаниями электроды должны быть прокалены по режиму, приведенному в соответствующем документе (ОСТ, ТУ) или этикетке. В случае отсутствия таких данных режим прокаливания выбирается по таблице 3.

Таблица 3 – Режимы прокаливания сварочных электродов [18]

Марка сварочного электрода	Температура прокаливания	Продолжительность прокаливания
УОНИ 13/45	360 °С	2 часа
MP-3	170 °С	1 час
ОЗЛ-6	220 °С	1 час

Прокаливание электродов может производиться не более трех раз. Число прокаливаний порошковой проволоки и флюса не ограничивается. Если электроды после трехкратной прокаливания показали неудовлетворительные сварочно-технологические свойства, то применение их для сварочных работ, выполняемых по настоящему РД, не допускается.

Перед использованием сварочных материалов (электродов, сварочной проволоки, флюса и др.) должны быть проверены:

- наличие сертификата (на электроды, проволоку и флюс), полнота приведенных в нем данных и их соответствие требованиям стандарта, технических условий или паспорта на конкретные сварочные материалы;
- наличие на каждом упаковочном месте (пачке, коробке, ящике, мотке, бухте и пр.) соответствующих этикеток (ярлыков) или бирок с проверкой полноты указанных в них данных;
- сохранность упаковок и самих материалов.

При отсутствии сертификата или неполноте сертификатных сведений сварочный материал данной партии может быть допущен к использованию после проведения испытаний и получения положительных результатов по всем показателям, установленным соответствующим нормативным техническим документом — стандартами (техническими условиями) или паспортом на данный вид материала.

На всех поступающих на монтажную площадку блоках, трубах и деталях до начала сборки мастером (или другим ответственным лицом) должно быть проверено наличие клейм, маркировки, а также сертификатов завода-изготовителя, подтверждающих соответствие блоков, труб и деталей их назначению. При отсутствии клейм, маркировки или сертификатов блоки, трубы и детали к дальнейшей обработке не допускаются.

При подготовке стыковых соединений труб для сварки необходимо проверить их соответствие чертежам и требованиям НТД. Отклонение плоскости реза от угольника (размер «e» на рисунке 3) должно быть не выше значений (по ОСТ 24.125.60-89 и ОСТ 108.030.40-79): 2,5 мм.

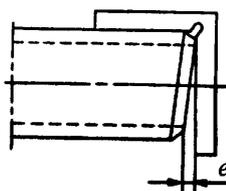


Рисунок 3 – Схема проверки перпендикулярности торцов труб

Следует также проверить:

- соответствие формы, размеров и качества подготовки кромок (в том числе расточки под заданный внутренний диаметр, разделки для угловых и тавровых соединений) предъявляемым требованиям (обработку фасок под сварку и размеры кромок проверяют специальными шаблонами);
- качество зачистки наружной и внутренней поверхностей концов труб (патрубков, штуцеров), а также их поверхностей в местах угловых и тавровых соединений;
- правильность выполнения переходов от одного сечения к другому (на концах труб, патрубков и штуцеров, подлежащих сварке с элементами других типоразмеров);
- соответствие минимальной фактической толщины стенки подготовленных под сварку концов труб (патрубков, деталей, штуцеров) установленным допускам (после расточки под подкладное кольцо или под заданный внутренний диаметр, зачистки наружной и внутренней поверхностей и после калибровки).

Обработку кромок труб под сварку следует производить механическим способом (резцом, фрезой или абразивным кругом) с помощью труборезного станка либо шлифмашинки. Шероховатость поверхности кромок труб, подготовленных для сварки, не должна превышать норм, приведенных на рисунке 4.

Фаски на трубах из углеродистых и низколегированных сталей под ручную или автоматическую аргонодуговую сварку стыков без подкладных колец, а также на трубах из высоколегированных сталей независимо от способа сварки необходимо снимать только механическим способом.

Все местные уступы и неровности, имеющиеся на кромках собираемых труб и препятствующие их соединению в соответствии с требованиями чертежей или настоящего РД, следует до сборки устранить с помощью

абразивного круга или напильника, не допуская острых углов и резких переходов.

При резке труб наружным диаметром более 76 мм на оставшейся ее части (которая в данный момент не идет в работу) должна быть сохранена маркировка завода-изготовителя или нанесены вновь несмываемой краской марка стали, номер плавки и размер трубы.

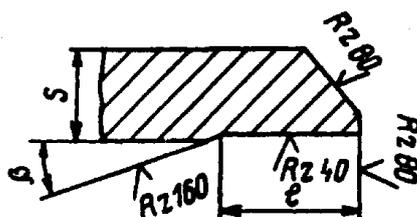


Рисунок 4 – Конструктивные размеры кромки трубы, обработанной под подкладное кольцо

Сборка стыков труб под сварку должна производиться с использованием центровочных приспособлений, обеспечивающих требуемую соосность стыкуемых труб и равномерный зазор по всей окружности стыка, а также с помощью прихваток или привариваемых на расстоянии 50...70 мм от торца труб временных технологических креплений.

Технологические крепления должны быть изготовлены из стали того же класса, что и свариваемые трубы. При сборке стыков из закаливающих теплоустойчивых сталей технологические крепления могут быть изготовлены из углеродистых сталей.

Сборку соединений осуществляют на наружных центраторах эксцентрикового или звенного типов. При сборке заводские (как продольные, так и спиральные) швы смещать относительно друг друга на расстояния 100 мм.

При сборке стыков с односторонней разделкой кромок и свариваемых без подкладных колец и подварки корня шва смещение внутренних кромок не

должно быть выше, чем установлено технической документацией на трубопровод.

Подготовленные кромки и прилегающие к ним участки должны быть вычищены механическим способом до металлического блеска и обезжирены на ширину не менее 20 мм с наружной и не менее 10 мм с внутренней стороны.

При сборке стыков труб под сварку следует пользоваться центровочными приспособлениями, предпочтительно инвентарными, непривариваемыми к трубам, как показано на рисунке 5.

Прямолинейность труб в стыке (отсутствие переломов) и смещение кромок проверяют линейкой длиной 400 мм, прикладывая ее в трех-четырех местах по окружности стыка, как показано на рисунке 6.

В правильно собранном стыке просвет между концом линейки и поверхностью трубы должен быть не более 1,5 мм, а в сваренном стыке - не более 3 мм.

При сборке труб и других элементов имеющих продольные и спиральные швы, последние должны быть смещены один относительно другого. Смещение - не менее трёхкратной толщины стенки свариваемых труб, но не менее 100 мм.

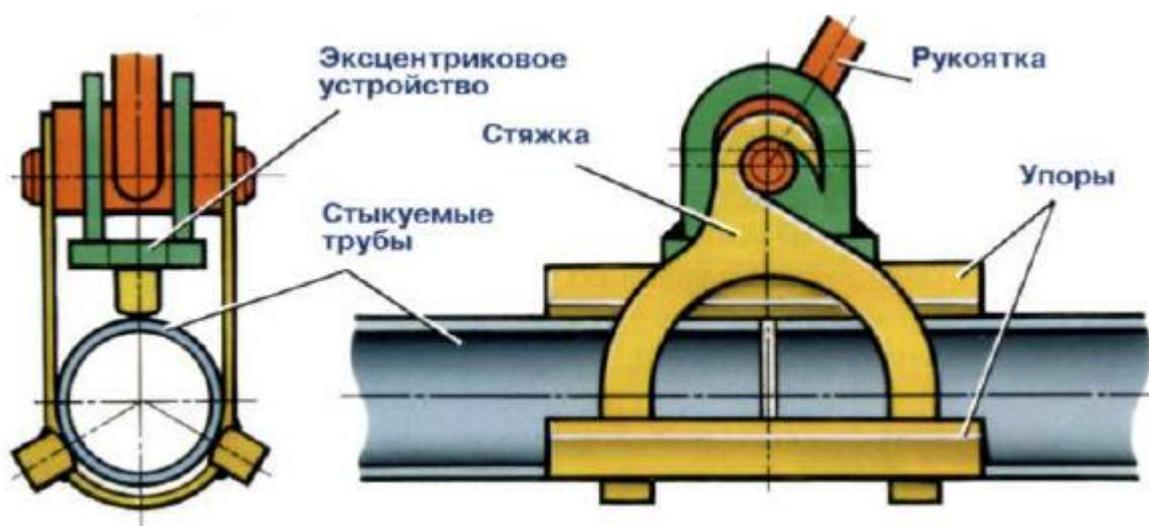


Рисунок 5 – Сборка труб под сварку с использованием наружного центратора

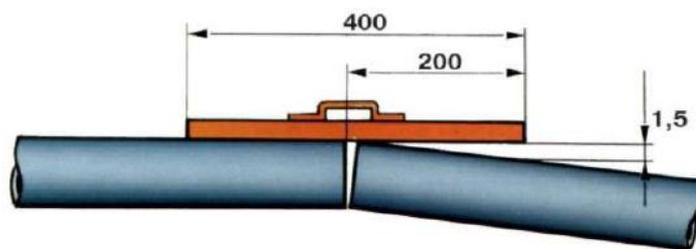


Рисунок 6 – Проверка прямолинейности сборки труб

Собранные стыки труб и других элементов необходимо прихватывать в нескольких местах. Прихватки на месте пересечения швов не допускаются.

Прихваточные швы рекомендуется выполнять тем же способом сварки, что и корневой.

Прихватки необходимо выполнять с полным проваром и по возможности переваривать при наложении основного шва.

К качеству прихваток предъявляются такие же требования, как и к сварному шву. Прихватки, имеющие недопустимые дефекты, обнаруженные при визуальном контроле, следует удалять механическим способом.

Прихваточные швы должны быть равномерно расположены по периметру стыка. Не рекомендуется накладывать прихватки на потолочный участок стыка.

Высота прихваток должна быть равна при их выполнении ручной дуговой сваркой на стыках труб с толщиной стенки  $S = 3$  мм и менее – толщине стенки трубы; с толщиной стенки более 3 до 10 мм –  $(0,6...0,7) S$ , но не менее 3 мм; с толщиной стенки более 10 мм – 5...6 мм. Параметры режима сварки приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Режимы ручной электродуговой сварки труб

Электроды с основным видом покрытия		
Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
Корневой	2,5-3,0	60-80
Заполняющие	2,5-3	90-130
	4,0	110-180
Облицовочный	2,5-3	90-130
	4,0	110-180

Сварку стыков труб рекомендуется начинать сразу после прихватки.

Ручную дуговую сварку следует выполнять возможно короткой дугой, особенно при использовании электродов с основным покрытием, для которых длина дуги должна быть не более диаметра электрода. В процессе сварки необходимо как можно реже обрывать дугу. Перед гашением дуги сварщик должен заполнить кратер путем постепенного отвода электрода и вывода дуги назад на 15...20 мм на только что наложенный шов. Последующее зажигание дуги производится на кромке трубы или на металле шва на расстоянии 20...25 мм от кратера.

При ручной дуговой сварке во избежание зашлаковки металла шва около кромок труб следует наплавлять возможно более плоский валик.

В процессе сварки должны быть обеспечены полный провар корня шва и заделка кратера. По окончании наплавки каждого валика необходимо полностью удалить шлак после его охлаждения (потемнения). При обнаружении на поверхности шва дефектов (трещин, скоплений пор и т.п.) дефектное место следует удалить механическим способом до «здорового» металла и при необходимости заварить вновь.

Сваренный и зачищенный стык труб с толщиной стенки 6 мм и более сварщик должен клеймить присвоенным ему клеймом. Клеймо ставят на самом сварном шве вблизи верхнего «замка» (на площадке размером около 20x20 мм, зачищенной абразивным камнем или напильником) или на трубе на расстоянии 30...40 мм от шва.

Назначение и применение методов контроля, их объемов и сочетания регламентируются в соответствии с правилами Госгортехнадзора России и СНиП, а также ведомственными нормативными актами, если иное не оговорено чертежами или техническими условиями на изготовление конкретного изделия.

Визуальному контролю подвергаются все законченные сварные соединения независимо от марки стали, категорий типа сварного соединения,

назначения и условий работы, включая сварные соединения, не работающие под давлением (приварка к трубам шипов, элементов опор, подвесок и др.)

Перед визуальным контролем сварные швы и прилегающая к ним поверхность основного металла шириной не менее 20 мм (по обе стороны шва) должны быть очищены от шлака брызг расплавленного металла, окалины и других загрязнений.

Визуальный контроль производится невооруженным глазом или с помощью лупы 4...7-кратного увеличения для участков требующих уточнения характеристик обнаруженных дефектов с применением, при необходимости, переносного источника света.

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются: трещины всех видов и направлений; непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва; наплывы (натеки) и брызги металла; незаваренные кратеры; свищи; прожоги; скопления включений.

Выявленные при визуальном и измерительном контроле дефекты, которые могут быть исправлены (удалены) без последующей заварки выборок, должны быть исправлены до проведения контроля другими методами.

Для трубопровода предусмотрены гидравлические испытания. Они проводятся после окончания монтажных и сварочных работ, термообработки, контроля качества сварных соединений неразрушающими методами, а также после установки и окончательного закрепления всех опор, подвесок и оформления документов, подтверждающих качество выполненных работ. Вид и способ испытания, а также величина испытательного давления указываются в проекте для каждого трубопровода.

## **1.4 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы**

Применяемая в базовой технологии сварка штучными электродами обладает рядом недостатков:

- в настоящее время ручная дуговая сварка исчерпала возможности повышения производительности за счёт корректировки параметров режима и назначения оптимальных сварочных материалов;
- недостаточная стабильность качества сварки, обусловленная пористостью, непроварами и возникновением трещин из-за перегрева основного металла;
- тяжёлые условия труда сварщика, обусловленные вредностью сварочного аэрозоля, образующегося при горении сварочных электродов;
- увеличенные потери сварочных электродов из-за разбрызгивания и огарков.

При выполнении анализа состояния вопроса обоснована замена стальных труб на пластиковые.

В ходе постановки задач на выполнение выпускной квалификационной работы сформулированы:

- на основании анализа альтернативных способов сварки полимерных трубопроводов произвести обоснованный выбор способа сварки;
- на основании анализа источников научно-технической информации составить перечень мероприятий по повышению эффективности способа сварки;
- составить проектную технологию сварки трубопровода из полимерных труб.

В ходе выполнения оценочного блока следует выполнить оценку предложенных решений с точки зрения экологической безопасности и экономического эффекта при внедрении в производство.

## 2. Построение проектной технологии сварки трубопровода из полимерных труб

### 2.1 Обоснование выбора материала трубопровода

Для изготовления трубопровода могут быть применены материалы, приведённые в таблице 5.

Таблица 5 - Материалы для полимерных трубопроводов

Материал	Условные обозначения	
	Отечественные	Международные
Полиэтилен: низкой плотности; средней плотности; высокой плотности	ПЭ ПНП ПСП ПВП	PE PELD PEMD PEHD
Сшитый полиэтилен	ПЭС	PEX
Полипропилен	ПП	PP
Полибутен	ПБ	PB
Поливинилхлорид	ПВХ	PVC

Наиболее низкой предельной температурой выполнения работ обладает полиэтилен (PE), который позволяет выполнять работы по строительству трубопроводов при температуре до  $-20^{\circ}\text{C}$ . Это делает возможным строительство трубопровода в зимних условиях. Полиэтилен может применяться для изготовления как напорных, так и безнапорных труб.

Полиэтилен делится на несколько групп:

- низкой плотности (ПНП),
- средней плотности (ПСП),
- высокой плотности (ПВП).

Полиэтилен сочетает в себе набор необходимых положительных качеств: высокую ударопрочность при работе в диапазоне  $-15...+30^{\circ}\text{C}$ , высокую эластичность, коррозионную стойкость по отношению к внешнему воздействию, высокую надёжность и простоту соединений труб, малую

газопроницаемость, легкость монтажа. Наиболее хорошо полиэтилен проявляет себя при малых температурах эксплуатации (до +30 °С).

Сшитый полиэтилен (ПЭС) является улучшенной версией полиэтилена, полученной за счёт его химической модификации. За счёт этого повышаются эксплуатационные свойства труб по сравнению с полиэтиленовыми трубами. В числе преимуществ использования сшитого полиэтилена для строительства трубопроводов можно отметить следующее:

- повышенное сопротивление усталости при эксплуатации трубопровода;
- малая звукопроницаемость, что обеспечивает безшумную работу трубопровода;
- возможность эксплуатации при повышенных температурах, которые могут достигать +95 °С;
- высокая коррозионная стойкость по отношению к щелочам и кислотам;
- высокие прочностные свойства;
- высокая устойчивость к истиранию;
- способность многократно выдерживать циклы замораживания и размораживания, что существенно повышает стойкость труб при возникновении аварийных ситуаций;
- низкий коэффициент теплопроводности, что позволяет экономить энергию на нагрев передаваемой воды.

Несмотря на преимущества сшитого полиэтилена при производстве труб для трубопроводов, следует отметить его недостатки:

- сложность проведения сварки встык, что существенно повышает стоимость технологии строительства трубопроводов;
- высокая кислородопроницаемость, что ухудшает качество передаваемой по трубопроводу воды.

На третьем месте по распространённости при строительстве трубопроводов стоит поливинилхлорид (ПВХ), который используется

несколько меньше, чем полиэтилен и полипропилен. В числе преимуществ труб их поливинилхлорида следует отметить его низкую горючесть и высокую коррозионную стойкость. Также трубы из поливинилхлорида менее чувствительны к ультрафиолетовому излучению, чем трубы из других полимерных материалов. Повышенная жёсткость труб из поливинилхлорида позволяет использовать трубы большого диаметра без дополнительных поддерживающих устройств. Температура эксплуатации труб не должна превышать ...+45 °С. Трубы из поливинилхлорида более стойки по отношению к термической деструкции и имеют меньший коэффициент линейного расширения.

В качестве недостатка труб из поливинилхлорида следует отметить сложность его повторной переработки по сравнению с трубами из полиэтилена и полипропилена. Кроме того, при горении поливинилхлорида выделяются вредные и отравляющие вещества: хлор, диоксины. Применять трубы их поливинилхлорида для изготовления трубопроводов горячего водоснабжения нельзя.

Трубы из полипропилена (ПП) занимают второе место после полиэтиленовых труб. Трубы из полипропилена в основном используют для строительства трубопроводов холодного водоснабжения, так как температура их эксплуатации не позволяет обеспечивать передачу среды со значительным нагревом. Преимуществами труб из полипропилена являются:

- высокая прочность труб по сравнению с трубами из других полимерных материалов;
- трубы из полипропилена не подвержены световому старению;
- трубы из полипропилена позволяют перекачивать жидкость с температурой до +95 °С.

В качестве недостатка труб из полипропилена следует указать высокую стоимость этого материала по сравнению с трубами из других полимеров.

На основании анализа преимуществ недостатков и преимуществ каждого материала принимаем решение использовать трубы из полиэтилена.

## 2.2 Обоснование выбора способа сварки

Образование сварного соединения при соединении труб из полимерных материалов предусматривает последовательное прохождение трёх стадийного процесса. Первая стадия предусматривает активацию свариваемых поверхностей, в результате которой повышается энергия теплового движения молекул, что происходит при переходе из твёрдого состояния в расплавленное. Вторая стадия предусматривает сближение активированных поверхностей на расстояние, позволяющее произойти взаимодействию. Третья стадия предусматривает затвердевание контакта расплавленных поверхностей в зоне сварки с образованием сварного соединения.

При сварке деталей из термопластов активация предусматривает нагрев свариваемых поверхностей, в результате которого происходит переход материала поверхности из твёрдого состояния в вязкотекучее состояние. При этом следует учитывать, что на поверхности деталей остаётся прослойка, которая продолжает препятствовать физическому контакту активированных молекул. Эта экранирующая прослойка имеет различную природу: различные адсорбированные на поверхности газы, слой пор из-за термодеструкции полимера, слой окисленного полимера, повышенная шероховатость поверхности.

Нагрев поверхностей при сварке полимерных труб может вестись с применением различных источников тепла: газовый нагрев, нагрев трением, ультразвуковые колебания, нагретый инструмент, энергия трения, высокочастотное электрическое поле, лучистая энергия.

При сварке нагретым газом, схема выполнения которой представлена на рисунке 7, нагрев поверхности свариваемых деталей выполняется струёй разогретого газа. При этом происходит нагрев как поверхностей деталей, так и присадочного металла. Таким способом можно выполнять сварку деталей из пенопласта, поливинилхлорида, полистирола, полифенолов, полиметилметакрилата. В присадочный пруток, который выполняется из того

же материала, что и свариваемые детали, добавляется пластификатор по массе 3...10 % от массы композиции. В случае, если изделие планируется к эксплуатации в агрессивной среде и при повышенных температурах, содержание пластификатора в присадочном материала уменьшают.

При сварке нагретым газом в основном тепло подводят к свариваемым поверхностям последовательно от одного участка шва к другому. Но возможны случаи, когда нагрев и сварку проводят за один приём по всей поверхности шва. Также возможна сварка без применения присадочного материала, схема выполнения которой представлена на рисунке 8.

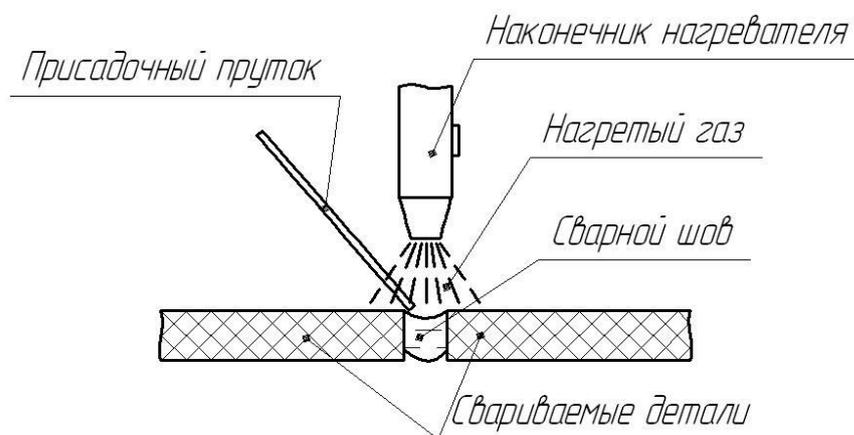


Рисунок 7 – Сварка нагретым газом с применением присадочного материала

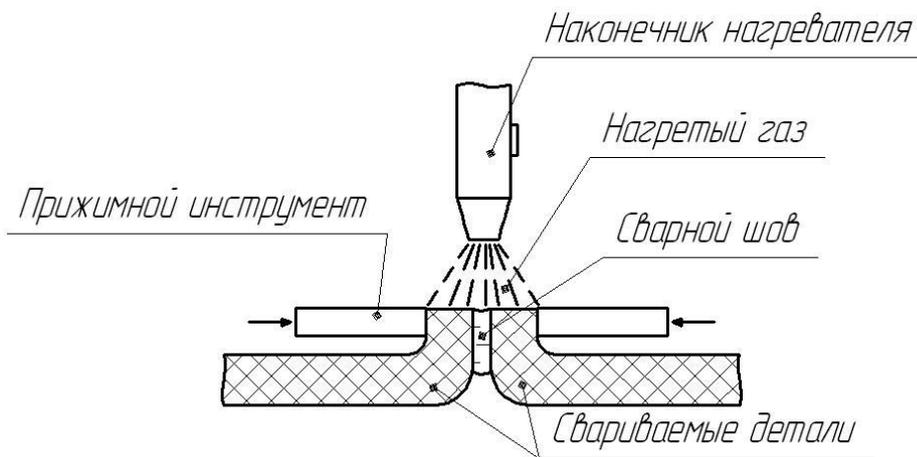


Рисунок 8 – Сварка нагретым газом без применения присадочного материала

С применением сварки нагретым газом можно сваривать детали различной геометрии и размеров. Нагрев газа осуществляется при помощи

газового пламени или электрического нагрева. Газом-теплоносителем служит воздух, а так же при сварке окисляющихся термопластов возможно применение в качестве газа-теплоносителя азота или инертных газов.

Сварка нагретым газом получила распространение в химической промышленности, сварке трубопроводов, листов линолеума. В качестве недостатка этого способа следует указать сложность поддержания постоянства режима нагрева и малую производительность способа.

При экструзионной сварке, схема выполнения которой представлена на рисунке 9, пот нагревательного инструмента присадочный материал поступает в зону соединения, где часть своего тепла передает свариваемым поверхностям. Проведение процесса экструзионной сварки возможно по непрерывной или прерывистой схеме. При непрерывной схеме происходит равномерная подача нагретого присадочного материала.

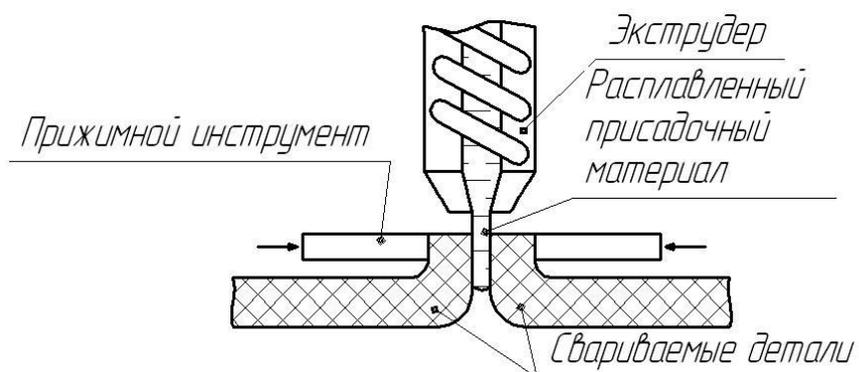


Рисунок 9 – Сварка экструдированной присадкой

Экструзионную сварку, в которой в качестве заготовки для получения экструдированной присадки, применяется пруток (диаметр прутка обычно составляет 4...5 мм), иногда называют «сварка расплавленным прутком». Экструзионная сварка получила распространение при соединении листовых деталей, плит и труб большого диаметра.

Портативные экструдеры, которые предлагаются современной промышленностью, позволяют выполнять сварку как в закрытом цеху, так и на открытой площадке.

По сравнению со сваркой горячим воздухом сварка экструдированной присадкой более экономична, позволяет получать соединения с более высоким качеством. Однако малая производительность способа не позволяет применять его в массовом производстве. Также качество сварки существенно зависит от квалификации сварщика. Кроме этого, при экструзионной сварке происходит повышенное выделение вредных газов и аэрозолей. Кроме того, прочность сварных соединений обычно не превышает 60...70 % прочности основного металла и существенно зависит от качества подготовки кромок.

При электромуфтной сварке, схема выполнения которой представлена на рисунке 10, соединяемые трубы в месте сварки нагреваются с использованием металлической спирали на закладном элементе. Сварное соединение образуется после остывания сварного стыка.

Нагрев и расплавление материала труб происходит от спирали из металлической проволоки, которая заделана в фитинг. Через эту проволоку проходит электрический ток, который и вызывает её нагрев. За счёт теплового расширения труб при нагреве создается сварочное усилие и происходит герметизация соединения.

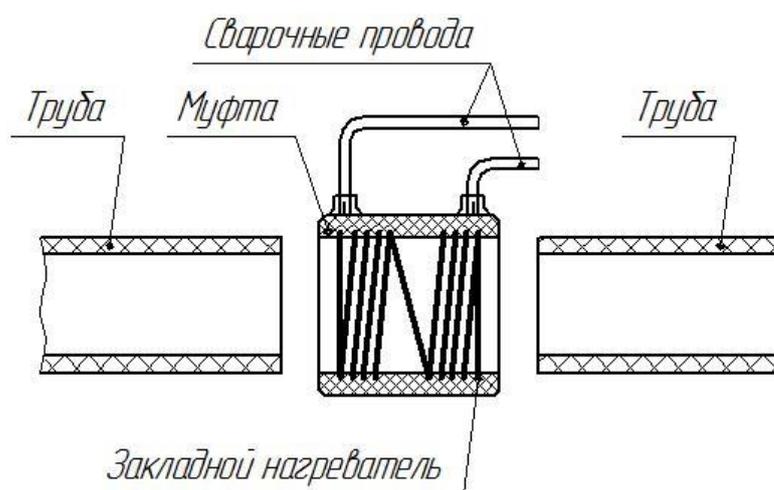


Рисунок 10 – Схема сварки электрическими муфтами

Сварка электромуфтами предусматривает выполнение действий в последовательности. Во-первых, очищают и обезжиривают концы соединяемых труб. Далее полностью устанавливают электромуфту на один

конец трубы до совмещения торца трубы и обратного торца электромуфты. После этого совмещают торцы соединяемых труб, электромуфту надвигают на стык на  $\frac{1}{2}$  от её длины. После сборки стыка сварочный аппарат подключают к клеммам электромуфты. О завершении процесса нагрева судят по выступанию расплавленного материала труб из контрольных отверстий электромуфты.

В числе преимуществ сварки труб с применением электрических муфт следует отметить:

- высокую производительность выполнения работ,
- малую производственную площадь для выполнения работ,
- высокую прочность получаемых соединений,
- малое энергопотребление при сварке.

В качестве недостатков способа следует отметить следующее:

- поскольку цена муфты включается в стоимость стыка, себестоимость способа оказывается выше, чем у других способов сварки;
- уменьшение производительности способа происходит из-за необходимости выжидания времени для естественного охлаждения стыка после сварки, которое оказывается значительно больше, чем при других способах сварки.

При сварке нагретым инструментом встык, схема выполнения которой представлена на рисунке 11, нагрев торцев труб происходит вследствие контакта с нагретым плоским инструментом. При этом наблюдается нагрев, интенсивность которого существенно выше, чем при сварке нагретым газом. Наблюдается более благоприятное распределение тепла по объёму труб, а сварное соединение практически не имеет перегретых зон, в которых возможно нарушение структуры материала. Обеспечивается равнопрочность соединения с основным материалом трубы.

При сварке нагретым инструментом сначала производится контакт торцев свариваемых труб, нагрев до расплавления. Далее инструмент удаляют, а нагретые торцы сжимают. В результате выполнения такой последовательности действий должно образовываться сварное соединение,

если выполнен ряд технологических требований. В настоящее время созданы автоматизированные аппараты для выполнения сварки нагретым инструментом, которые позволяют свести к минимуму влияние человеческого фактора на качество сварки.

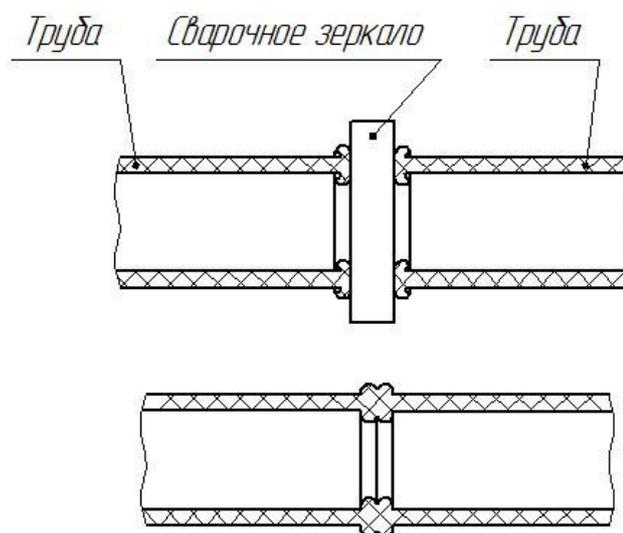


Рисунок 11 – Схема сварки нагретым инструментом встык

В числе преимуществ сварки нагретым инструментом следует отметить:

- снижение размеров зоны термического влияния;
- упрощение конструкции соединения по сравнению со сваркой электродом;
- обеспечение равнопрочности сварного соединения с основным материалом.

В числе недостатков сварки нагретым инструментом следует выделить:

- зависимость качества выполняемых соединений от температуры окружающего воздуха;
- необходимость обеспечения высокой точности поддержания сварочных режимов и правильности выполнения технологических операций.

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа сварки полимерных материалов для построения проектной технологии сварки выбираем сварку нагретым инструментом.

## 2.3 Операции проектного технологического процесса сварки

Для того, чтобы обеспечить стальное качество сварки при строительстве трубопроводов из полимерных труб, необходимо:

- проверять квалификацию сварщиков и исполнителей монтажных работ;
- выполнять входной контроль качества труб и соединительных деталей;
- проводить периодический контроль состояния применяемого инструмента и сварочного оборудования;
- выполнять проверку качества сборки и соблюдения параметров режима сварки;
- обеспечить проведение визуального и измерительного контроля качества сварных соединений;
- проводить контроль прочности сварных соединений.

При входном контроле труб и арматуры, который выполняется строительно-монтажной организацией, проверяется:

- целостность упаковки труб и арматуры;
- наличие маркировки на трубах и арматуре, её соответствие документации;
- осмотр поверхности труб и арматуры на предмет наличия недопустимых дефектов;
- проверка соответствия внутреннего и наружного диаметров труб требованиям чертежа и документации. При этом следует выполнять измерения по двум взаимно перпендикулярным диаметрам.

Все поставляемые на участок трубы, произведённые за рубежом, должны сопровождаться техническим свидетельством.

Не допускается выполнять сварку труб, которые имеют различный состав. Максимальное несовпадение кромок должно составлять 10 % от номинальной толщины стенки трубы.

Результаты входного контроля труб и арматуры оформляются актом.

На рисунке 12 показаны основные этапы при сварке труб с использованием нагретого инструмента.

Перед выполнением нагрева проводят механическую обработку торцев труб. В ходе этой обработки удаляются возможные загрязнения и окисленная поверхность труб. После такой обработки при стыковке труб величина зазоров должна быть не более 0,5 мм для диаметра менее 110 мм и не более 0,7 мм для больших диаметров.

В процессе сварки происходит выполнение следующих операций [3]:

- свариваемые трубы устанавливают в приспособлении и центрируют;
- проводят механическую обработку торцев труб и их обезжиривание;
- выполняют нагрев торцев труб;
- удаляют сварочный нагреватель;
- сжимают нагретые торцы труб под усилием;
- выполняют естественное охлаждение сварного соединения под давлением.

Основными параметрами сварки являются:

- температура нагрева рабочей поверхности нагревателя;
- продолжительность контакта торцев труб с нагревателем;
- глубина оплавления торцев труб;
- величина контактного давления при нагреве;
- величина давления при осадке труб.

Температура рабочей поверхности нагревателя составляет 150...170 °С. Продолжительность контакта торцев труб с нагревательным инструментом составляет 5...7 минут.

После сварки величина внутреннего и наружного грата должна быть в пределах 2...2,5 мм при толщине стенки трубы до 5 мм и 3...5 мм при толщине стенки трубы 6...20 мм.

При выполнении сварки поворот деталей относительно друг друга недопустим. После выполнения сварки необходимо провести очистку поверхности нагревателя от налипшего на него материала труб.

Сразу после сварки следует выполнить маркировку стыка в двух диаметрально противоположных местах на горячем grate. Маркировку стыка выполняют с применением клейма ПУ-6 или ПУ-8 согласно ГОСТ 2930.

После сварки выполняют контроль стыка. Напорные и безнапорные трубопроводы следует испытывать на прочность гидравлическим или пневматическим способом. Гидравлическое испытание проводится при давлении, большем чем рабочее в 1,5 раза.

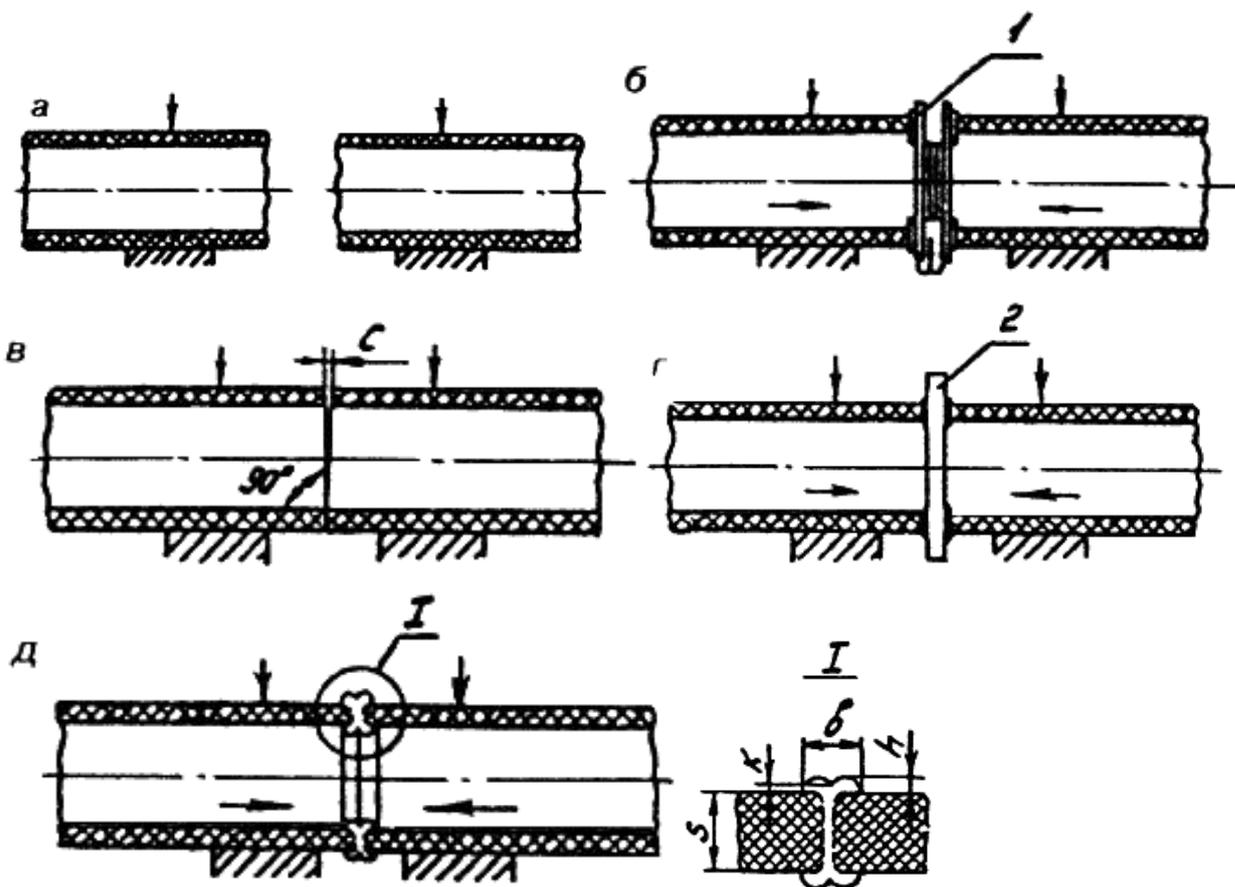


Рисунок 12 – Последовательность сварки труб нагретым инструментом: центровка и закрепление в зажимах сварочной машины концов свариваемых труб (а); механическая обработка торцов труб с помощью торцовки (б); проверка точности совпадения торцов по величине зазора (в); нагрев и оплавление свариваемых поверхностей нагретым инструментом (г); осадка стыка (д)

До проведения испытания напорных трубопроводов с раструбными соединениями с уплотнительными кольцами по торцам трубопровода и на отводах необходимо устраивать временные или постоянные упоры.

Предварительное гидравлическое испытание напорных трубопроводов следует производить в следующем порядке:

- трубопровод заполнить водой и выдержать без давления в течение 2 ч;
- в трубопроводе создать испытательное давление и поддерживать его в течение 0,5 ч;
- испытательное давление снизить до расчетного и произвести осмотр трубопровода.

Выдержка трубопровода под рабочим давлением производится не менее 0,5 ч. Ввиду деформации оболочки трубопровода необходимо поддерживать в трубопроводе испытательное или рабочее давление подкачкой воды до полной стабилизации.

Трубопровод считается выдержавшим предварительное гидравлическое испытание, если под испытательным давлением не обнаружено разрывов труб или стыков и соединительных деталей, а под рабочим давлением не обнаружено видимых утечек воды.

Окончательное гидравлическое испытание на плотность проводится в следующем порядке [23]:

- в трубопроводе следует создать давление, равное расчетному рабочему давлению, и поддерживать его 2 ч; при падении давления на 0,02 МПа производится подкачка воды;
- давление поднимают до уровня испытательного за период не более 10 мин и поддерживают его в течение 2 ч.

Трубопровод считается выдержавшим окончательное гидравлическое испытание, если фактическая утечка воды из трубопровода при испытательном давлении не превышает значений, указанных в таблице 6.

Таблица 6 - Допустимая утечка воды на участке трубопровода длиной 1 км при окончательных испытаниях на герметичность

Наружный диаметр труб, мм	Допустимая утечка, л/мин, для труб	
	с неразъемными (сварными, клеевыми) соединениями	с раструбными соединениями на уплотнительных кольцах
63-75	0,2-0,24	0,3-0,5
90-110	0,26-0,28	0,6-0,7
125-140	0,35-0,38	0,9-0,95
160-180	0,42-0,6	1,05-1,2
200	0,56	1,4
250	0,7	1,55
280	0,8	1,6
315	0,85	1,7
355	0,9	0,8
400-450	1,1-1,05	1,95-2,1
500-560	1,1-1,15	2,2-2,3
630	1,2	2,4
710	1,3	2,55
800	1,35	2,7

Гидравлические испытания систем из полимерных материалов внутренних трубопроводов проводят при положительной температуре окружающей среды не ранее, чем через 24 ч после выполнения последнего сварного и клеевого соединения.

#### 2.4 Оборудование для сварки

Сварку труб встык в монтажных условиях следует производить на сварочных установках с гидравлическим приводом типа STP производства ЗАО «СанТехПласт». Данное оборудование, представленное на рисунке 13, обеспечивает автоматизацию основных процессов сварки и компьютерный контроль с регистрацией технологического процесса.

На рисунке 14 представлен нагреватель, рабочая поверхность которого покрыта теплостойким антиадгезионным покрытием, что позволяет свести к минимуму эффект налипания расплавленного материала труб. На рисунке 15 представлен нагреватель торцев. На рисунке 16 представлен торцеватель, который предназначен для проведения механической торцовки кромок труб.



Рисунок 14 – Сварочный станок гидравлического типа с торцевателем

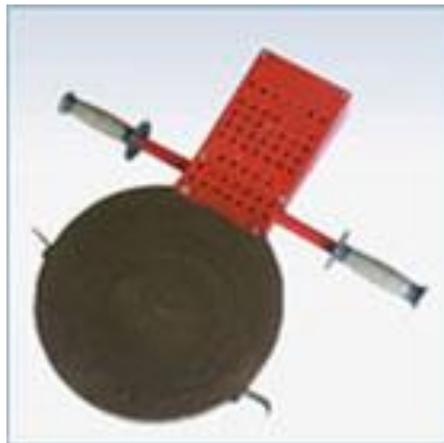


Рисунок 15 – Нагреватель



Рисунок 16 – Торцеватель



Рисунок 17 – Работа сварочного оборудования на монтаже

На рисунке 17 представлен процесс работы оборудования. Центратор имеет два подвижных зажима, на которые от гидравлического цилиндра прикладывается сжимающее усилие, и два неподвижных зажима. Подключение гидравлического цилиндра сжатия к гидравлическому агрегату происходит посредством двух быстроразъемных соединений.

Гидравлический агрегат служит для развития давления в диапазоне 0...80 Бар, которое используется для питания гидравлического цилиндра привода сжатия. Агрегат оснащён регулятором давления, манометром, трехпозиционным джойстиком. Рукава агрегата имеют быстроразъемные соединения, которыми происходит соединение к центратору.

## 2.5 Способ сварки

Принцип работы предлагаемого устройства представлен на рисунке 18 и рисунке 19. «Концы свариваемых труб 1 центрируют по наружной

поверхности и производят механическую обработку торцов соединяемых труб с целью обеспечения их плотного прилегания друг к другу, а также для снятия окисленных поверхностных слоев. Затем концы труб 1 приводят в непосредственный контакт с нагретым инструментом 2, имеющим нагревательный элемент 3, путем ввода концов свариваемых труб на глубину  $h$ , большую, чем длина зоны термического влияния 1, в цилиндрические глухие отверстия в виде кольцевой проточки с эластичными элементами 4, обеспечивающими идеальный тепловой контакт соприкасающихся поверхностей, стенки которых имеют температуру из регламентированного интервала температуры атмосферного воздуха при проведении сварочных работ, и выдерживают определенное время до достижения средней температуры зоны термического влияния значения температуры инструмента» [4].

Продолжительность нагрева находят «решением задачи теплопроводности из условия достижения однородного распределения температуры в зоне термического влияния. После достижения в зоне термического влияния температурного поля, близкого к однородному, инструмент удаляют. Затем нагретым до или выше температуры плавления материала трубы другим инструментом оплавливают торцы свариваемых труб. Затем инструмент удаляют, а оплавленные торцы осаживают под давлением и выдерживают под этим давлением определенное время. Для поддержания такой же скорости охлаждения и таких же релаксационных процессов в сварном соединении, какие получаются при сварке при регламентированных температурах, охлаждение производят в замкнутом ограниченном объеме 5 с использованием теплоизолирующего материала 6, температура которого поддерживается в регламентированном интервале с помощью нагревательных элементов (не показано) и за счет теплоты сварного соединения. Для достижения лучшей теплоизоляции между стенкой трубы 1 и теплоизолирующим материалом 6 имеется эластичный материал 7. Таким образом, температура в зоне термического влияния при любых низких

температурах атмосферного воздуха принудительным образом становится равной регламентированной температуре. Произведенный в таких условиях сварочный шов обладает всеми прочностными свойствами сварного шва, полученного при температурном интервале, предусмотренном нормативными документами» [5].

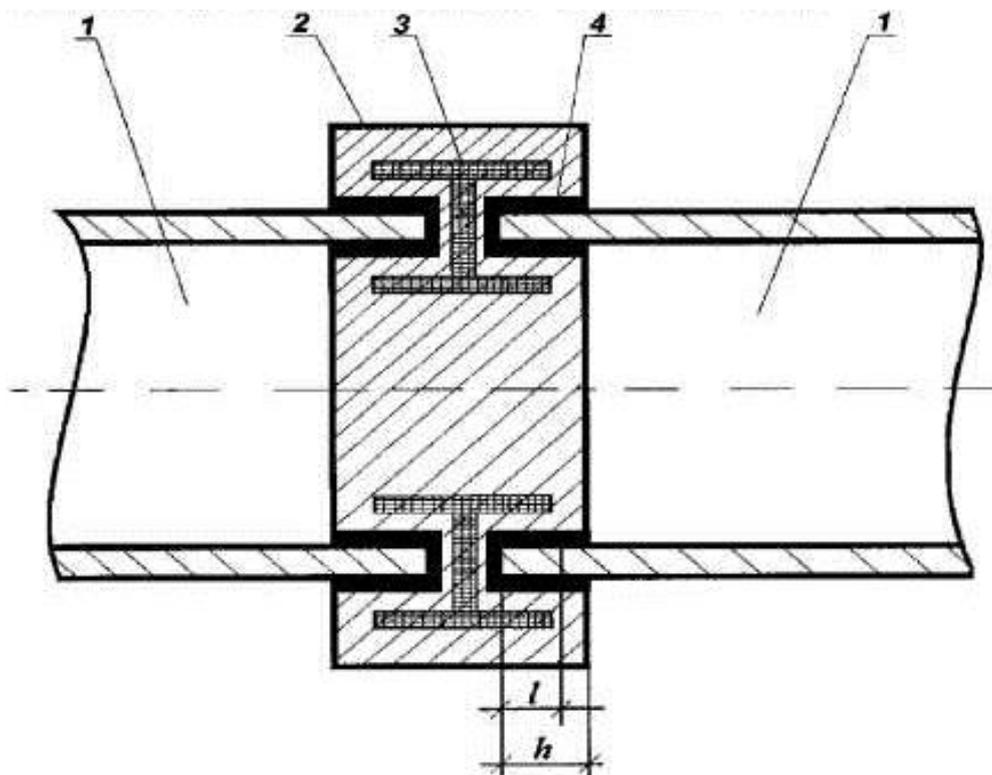


Рисунок 18 – Сборка под сварку

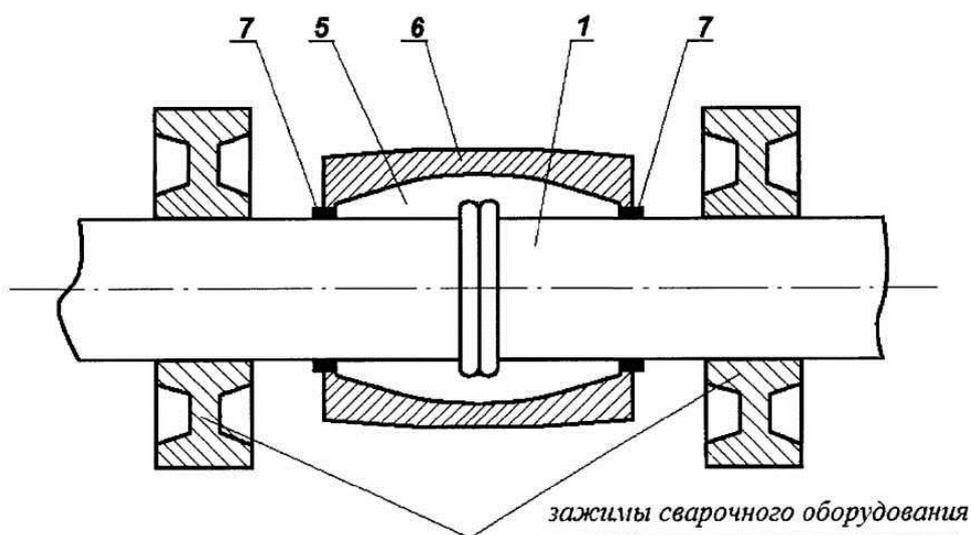


Рисунок 19 – Сварка

## Выводы по второму разделу

В выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение производительности и качества сварочных работ при строительстве трубопроводов из полимерных материалов.

В ходе анализа состояния вопроса были поставлены задачи:

- на основании анализа альтернативных способов сварки полимерных трубопроводов произвести обоснованный выбор способа сварки;
- на основании анализа источников научно-технической информации составить перечень мероприятий по повышению эффективности способа сварки;
- составить проектную технологию сварки трубопровода из полимерных труб.

Эти задачи были решены с применением достижений современной отечественной промышленности [7, 5].

Для достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы необходимо идентифицировать опасные и вредные производственные факторы, предложить меры по их устранению [10].

Также необходимо провести экономические расчёты, доказывающие эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство [16].

### **3 Безопасность и экологичность технического объекта**

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

В настоящей выпускной квалификационной работе составлена проектная технология сварки трубопровода из полимерных труб.

Сварка полимерных трубопроводов по сравнению со сваркой стальных трубопроводов имеет ряд существенных отличий.

Проектный технологический процесс существенно отличается от базового процесса сварки. Во-первых, изменились операции согласно карте технологического процесса. Во-вторых, используется оборудование, отличное от оборудования для осуществления базового процесса. В-третьих, изменены параметры режима сварки. Изменение технологического процесса по сравнению с базовым процессом сварки может привести к возникновению новых опасных и вредных производственных факторов, которые скажутся негативно на здоровье персонала и состоянии окружающей среды.

В связи с этим необходимо провести исследования особенностей осуществления проектного технологического процесса, направленные на идентификацию опасных и вредных производственных факторов. Идентификация опасных и вредных производственных факторов, в свою очередь, позволит предложить технологические и организационные мероприятия для устранения негативного влияния этих факторов или уменьшения их влияния до допустимого уровня.

Кроме того, повышение экологической ответственности производственных предприятий делает необходимым проведение дополнительных технологических и организационных мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия производств на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

Таблица 7 – Технологически паспорт объекта

Наименование операции технологического процесса	Наименование должности работника, выполняющего данную операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые на операции
- «подготовка торцев труб	Электросварщик	Торцовочный станок, щётка металлическая	Керосин
- сборка	Электросварщик	Автокран, сборочное приспособление	Сжатый воздух
- сварка	Электросварщик	Автокран, сборочное приспособление, сварочное приспособление	Сжатый воздух
- контроль качества» [10]	Дефектоскопист	Дефектоскоп	Кисть, масло

Операции проектного процесса сборки и сварки полимерного трубопровода представлены в таблице 7 и включают в себя: подготовка торцев труб; сборка; сварка; контроль качества.

Анализ данных в таблице 7 позволяет в дальнейшем провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Проведение идентификации профессиональных рисков при реализации проектной технологии делает необходимым выявление и анализ опасных и вредных производственных факторов. Эксплуатация технологического оборудования приводит к возникновению опасных и вредных производственных факторов, которые для удобства сведены в таблицу 8. Эти факторы приводят к возникновению производственных травм и развитию у работников профессиональных заболеваний.

Таблица 8 – Идентификация профессиональных рисков при реализации проектной технологии

Наименование операции технологического процесса	Опасный или вредный производственный фактор, являющийся причиной возникновения профессионального риска	Оборудование или иные объекты, становящиеся причиной возникновения опасного или вредного производственного фактора
- подготовка торцев труб	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока; - механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	Торцовочный станок, щётка металлическая
- сборка	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока; - механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	Автокран, сборочное приспособление
- сварка	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока; - механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования; - нагрев поверхности деталей до высоких температур; - инфракрасное излучение; - превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газа	Автокран, сборочное приспособление, сварочное приспособление
- контроль качества	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока - ультразвуковое излучение	Дефектоскоп

### **3.3 Предлагаемые технологические и организационные мероприятия для снижения профессиональных рисков**

Ранее была выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, совокупное или раздельное действие которых приводит к возникновению профессиональных рисков.

Анализ этих факторов позволяет предложить для каждого из них стандартные технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить действие этих факторов или уменьшить их действие до приемлемого уровня.

Таблица 9 – Технологические и организационные мероприятия по снижению профессиональных рисков

Опасный или вредный производственный фактор, являющийся причиной возникновения профессионального риска	Наименование технологического или организационного мероприятия по снижению профессиональных рисков	Применяемые средства индивидуальной защиты
- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	- оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами; - периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности	спецодежда
- механические взаимодействия с массивными движущимися частями технологического оборудования	- монтаж ограждений для ограничения попаданий работников в опасную зону, где они могут столкнуться с движущимися частями оборудования; - оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами	спецодежда
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	- организация местного удаления загрязнённого воздуха рабочей зоны; - устройство общеобменной вентиляции для поступления чистого воздуха в рабочую зону	средства индивидуальной защиты дыхательных путей
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	- оснащение технологического оборудования защитным заземлением и устройствами защитного отключения; - периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности; - проведение периодических замеров сопротивления изоляции и заземления	спецодежда
- нагрев поверхности деталей до высоких температур	- периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности; - повышение уровня автоматизации основных и вспомогательных операций	спецодежда
- ультразвуковое излучение	- оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами; - ограничение длительности воздействия вредного фактора на персонал	спецодежда

Внедряемые на предприятии технологические и организационные мероприятия представлены в таблице 9. Как видно из этой таблицы, предлагаемые мероприятия имеют стандартное исполнение, разработка специализированных средств защиты не требуется.

Предлагаемые в работе меры позволяют значительно снизить травматизм персонала при выполнении проектной технологии. Также значительно уменьшается вероятность появления у персонала профессиональных заболеваний.

Следует учитывать, что после внедрения в производство предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений не только возникнут опасные и вредные производственные факторы.

Производственное предприятие постоянно подвергается риску возникновения пожаров, которые могут причинить вред работникам и имуществу предприятия. Кроме того, работа предприятия сопровождается отрицательным воздействием на окружающую среду, загрязнением атмосферы, гидросферы и литосферы.

Поэтому в следующей части экологического раздела следует рассмотреть мероприятия по обеспечению пожарной безопасности и экологической безопасности разрабатываемого технологического объекта.

### **3.4 Обеспечение пожарной безопасности**

Сварка полимерных трубопроводов может привести к возникновению пожара, если не соблюдаются противопожарные мероприятия. При реализации проектной технологии существует риск подвергания персонала и имущества предприятия опасным факторам пожара. Для того, чтобы предложить меры защиты от пожара, следует, во-первых, разработать мероприятия против возникновения пожара, во-вторых, предусмотреть средства для устранения пожара.

Таблица 10 – Определение класса пожара и идентификация опасных факторов

Обозначение производственного участка	Перечень имеющегося на участке оборудования	Классификация пожара по виду горящего вещества	Перечень опасных факторов, возникающих при пожаре	Перечень вторичных опасных факторов, возникающих при пожаре
Участок сварки полимерного трубопровода	Торцовочная машина, стыковочная машина, сварочная машина, вспомогательное оборудование, масляная станция, компрессорная станция	«пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [10]	«Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него» [10].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [10].

Таблица 11 – Перечень технических средств, обеспечивающих пожарную безопасность

Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	«Первичные средства пожаротушения
Специализированные расчеты (вызываются)	Мобильные средства пожаротушения
Нет необходимости	Стационарные установки системы пожаротушения
Нет необходимости	Средства пожарной автоматики
Пожарный кран	Пожарное оборудование
План эвакуации	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре
Ведро конусное, лом, лопата штывковая	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)
Кнопка оповещения» [10]	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.

Таблица 12 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок сварки полимерного трубопровода	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [10].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [10].

Идентификация опасных факторов при возникновении на предприятии пожара представлена в таблице 10. На основании анализа этих опасных факторов предложены технологические решения по обеспечению пожарной безопасности, представленные в таблице 11

Для того, чтобы обеспечить защиту персонала и имущества предприятия от возможного пожара, предусмотрены мероприятия, перечисленные в таблице 12.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности производства

Таблица 13 – Негативные факторы, влияющие на окружающую среду, возникающие при реализации проектного технологического процесса

Наименование технологического процесса	Перечень операций технологического процесса	Негативные факторы, влияющие		
		на атмосферу	на гидросферу	на литосферу
Сварка полимерного трубопровода	- подготовка - сборка - сварка - контроль качества	выделение в атмосферу частиц и газов при работе технологического оборудования	попадание в воду машинного масла	загрязнение литосферы бытовым мусором, частицами упаковки, отходами производства

Таблица 14 – Технологические и организационные мероприятия по защите окружающей среды от выявленных вредных экологических факторов

Наименование технического объекта	Сварка полимерного трубопровода
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на атмосферу	Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на гидросферу	Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на литосферу	На участке выполнения сварки 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.

Осуществление проектного технологического процесса приводит к возникновению не только опасных и вредных производственных факторов, но и значительно ухудшает экологическую обстановку из-за отрицательного воздействия на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу). В ходе выполнения настоящего раздела необходимо провести идентификацию вредных экологических факторов, которые возникают при реализации проектной технологии согласно таблице 13. По результатам идентификации вредных экологических факторов, действующих на атмосферу, гидросферу и литосферу, необходимо предложить мероприятия по защите от них, представленные в таблице 14.

#### Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы предусматривает проведение поиска и анализа опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектной технологии сварки полимерного трубопровода.

В проектной технологии применяется сварка нагретым инструментом, внедрение которой в производство изменило технологический процесс. Анализ этого процесса позволил идентифицировать опасные и вредные

факторы, выделить особенности их влияния на персонал и окружающую среду. По результатам проведённых работ предложены технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить негативное действие выявленных опасных и вредных производственных факторов.

Также в разделе предложены мероприятия по защите рабочего персонала и предприятия от возникающих пожаров, что выполнено путём идентификации опасных факторов пожара и назначения способов устранения этих факторов. Предложены стандартные средства и мероприятия по устранению опасности возникновения пожара и тушению пожара, если он произошёл.

При оценке экологичности проектного технологического процесса рассмотрены отрицательные воздействия результатов проведения процесса на окружающую среду – атмосферу, гидросферу и литосферу. Предложенные в разделе мероприятия позволяют выполнить экологические требования, предъявляемые предприятию со стороны природоохранных организаций.

Установлено, что устранение опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектного технологического процесса, может быть осуществлено с применением стандартных средств и методик защиты.

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых решений**

### **4.1 Исходные данные для проведения экономических расчётов**

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки полимерных трубопроводов.

По базовому варианту технологии сварка трубопровода происходит с использованием стальных труб и применением ручной дуговой сварки. Недостатками базовой технологии являются: низкая стабильность качества сварки, малая производительность работ, значительные финансовые затраты на обеспечение безопасности персонала.

В проектном варианте технологии предлагается провести сварку полимерного трубопровода.

На основании анализа способов сварки полимерных материалов принято решение использовать сварку нагретым инструментом. Для обеспечения качества сварки предложен способ, разработанный отечественными исследователями сварщиками.

В результате применения этой разработки следует прогнозировать снижение разбрызгивания и повышение качества наплавки, производительность будет повышена в два раза.

Также необходимо провести экономические расчёты, доказывающие эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство [16].

В таблицу 15 сведены данные по базовому и проектному вариантам технологии, которые позволят провести экономические расчёты и обосновать применение предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

В ходе расчётов следует провести оценку фонда времени работы оборудования, заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам, рассчитать капитальные затраты и экономические показатели.

Таблица 15 – Данные по базовой и проектной технологиям для выполнения экономических расчётов

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	$V$	$V$
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	150	150
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	98 тыс.	540 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	15	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
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	$S$	$m^2$	80	80
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	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» [11]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании данных в таблице 15 рассчитаем экономические показатели для базового и проектного варианта технологического процесса.

## 4.2 Оценка фонда времени работы технологического оборудования

При осуществлении проектного и базового варианта технологического процесса затрачивается время, в течение которого эксплуатируется технологическое оборудование и выполняет свои функции рабочий персонал, получающий заработную плату. Также фонд времени работы оборудования будет влиять на величину расходов на производственные площади и амортизацию оборудования.

Базовый и проектный вариант технологии предусматривает расходование одинакового фонда времени, который и рассчитаем в настоящем разделе. Суммарное количество в календарном году рабочих дней задаётся как  $D_p = 277$  дней. В рабочие дни продолжительность смены составляет  $T_{см} = 8$  часов. В предпраздничные дни продолжительность рабочей смены уменьшается на один час. В настоящей выпускной квалификационной работе количество рабочих смен по базовому и проектному вариантам технологии составляет  $K_{см} = 1$ . С учётом вышеперечисленных данных выполним расчёт фонда времени по формуле:

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_n \cdot T_n) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $F_n = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$  ч.

При расчётах следует запланировать потери рабочего времени, которые составляют  $B = 7$  %, таким образом, эффективный фонд рабочего времени уменьшится на 7%:

$$F_э = F_n(1 - B/100). \quad (2)$$

После подстановки получаем:  $F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$  ч.

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время по проектному и базовому вариантам технологии определяет расходование фонда времени работы оборудования на одно изделие. Значение штучного времени для вариантов технологии задаём с использованием нормирования труда и данных технологических карт.

Штучное время включает в себя затраты времени на выполнение основных технологических операций (машинное время  $t_{\text{маш}}$ ), выполнение вспомогательных операций технологического процесса (вспомогательное время  $t_{\text{всп}}$ ), обслуживание рабочего места и оборудования (время обслуживания  $t_{\text{обсл}}$ ), личный отдых работников (время отдыха  $t_{\text{отд}}$ ), подготовку и окончание работы (подготовительно-заключительное время  $t_{\text{п-з}}$ ):

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$t_{\text{шт.баз}} = 1,1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,33 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 0,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,76 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы выпуска изделий проводим в соответствии с рассчитанными ранее фондом времени работы оборудования и штучного времени для проектного и базового вариантов технологического процесса:

$$П_2 = F_3 / t_{\text{шт}}. \quad (4)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$П_{г.баз.} = 2054 / 1,33 = 1544 \text{ за год;}$$

$$П_{г.проектн.} = 2054 / 0,76 = 2700 \text{ за год.}$$

Дальнейшие экономические расчёты проводим исходя из годовой программы для базового и проектного вариантов технологии  $\Pi_{г} = 1$  тыс. стыков за год.

Расчёт необходимого количества технологического оборудования выполним с учётом коэффициента выполнения нормы  $K_{вн} = 1,03$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$n_{расч. б.} = 1,33 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,6;$$

$$n_{расч. пр.} = 0,76 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,40.$$

Для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии принимаем количество оборудования  $n=1$ . Далее выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования:

$$Kз = n_{расч} / n_{пр}. \quad (6)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Kзб = 0,6 / 1 = 0,6;$$

$$Kзп = 0,4 / 1 = 0,4.$$

#### 4.4 Расчёт заводской себестоимости вариантов технологии

Выполнение сварки предполагает расходование материалов, к которым следует отнести в базовом варианте технологии – сварочные электроды, а в проектном варианте технологии – сжатый воздух. Затраты на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов  $H_p$ , цены материалов  $\Pi_m$  и коэффициента  $K_{тз}$  транспортно-заготовительных расходов по формуле:

$$M = \Pi_m \cdot H_p \cdot K_{тз} \quad (7)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$M_{\text{баз.}} = 210 \cdot 0,448 + 40 \cdot 0,888 = 129,6 \text{ руб.};$$

$$M_{\text{баз.}} = 70 \cdot 0,84 = 58,8 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  рассчитывается с учётом ранее определённого штучного времени  $t_{\text{шт}}$  и часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$  с учётом коэффициента  $K_{\text{д}}$  доплат к заработной плате:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 1,33 \cdot 200 \cdot 1,88 = 500,08 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 0,76 \cdot 200 \cdot 1,88 = 285,76 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  рассчитывается с учётом коэффициента дополнительных доплат  $K_{\text{доп}}$  по ранее определённому значению основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 500,08 \cdot 12 / 100 = 60,01 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 285,76 \cdot 12 / 100 = 34,29 \text{ руб.}$$

Размер фонда заработной платы  $\Phi ЗП$  рассчитывается как сумма основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$ :

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 500,08 + 60,01 = 560,09 \text{ руб.};$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 285,76 + 34,29 = 320,05 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  рассчитываются исходя из ранее определённого объёма фонда заработной платы по проектному и базовому вариантам технологии с учётом коэффициента  $K_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды по формуле:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$O_{сн\text{ баз.}} = 560,09 \cdot 34 / 100 = 190,43 \text{ руб.}$$

$$O_{сн\text{ проектн.}} = 320,05 \cdot 34 / 100 = 108,82 \text{ руб.}$$

Для вычисления затрат на оборудование  $Z_{об}$  необходимо определить амортизационные отчисления  $A_{об}$  и затраты на электрическую энергию  $P_{ээ}$ :

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

Амортизационные отчисления рассчитываются исходя из нормы амортизации  $H_a$ , эффективного фонда времени  $F_э$ , цены оборудования  $C_{об}$  и машинного времени  $t_{маш}$  с использованием формулы:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$A_{об. баз.} = 98000 \cdot 21,5 \cdot 1,33 / 2054 / 100 = 13,64 \text{ руб.},$$

$$A_{об. пр.} = 540000 \cdot 21,5 \cdot 0,76 / 2054 / 100 = 42,96 \text{ руб.}$$

Расчётное определение затрат на электрическую энергию, необходимую для операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам проводим с учётом цены электрической энергии  $C_{ээ}$ , установленной мощности оборудования  $M_{уст}$  и коэффициента полезного действия КПД оборудования с использованием формулы:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$P_{ээ\text{ баз}} = 15 \cdot 1,33 \cdot 3,2 / 0,7 = 91,20 \text{ руб.};$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 20 \cdot 0,76 \cdot 3,2 / 0,85 = 57,22 \text{ руб.}$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Z_{\text{об баз.}} = 13,64 + 91,20 = 104,84 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 42,96 + 57,22 = 100,18 \text{ руб.}$$

Вычисление технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$  проводим по ранее определённым затратам на фонд заработной платы ФЗП, материалы  $M$ , оборудование  $Z_{\text{об}}$  и отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 130 + 560 + 190 + 91 = 917 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 59 + 320 + 109 + 57 = 545 \text{ руб.}$$

Размер цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  вычислим с учётом ранее определённого значения технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и принятого из таблицы исходных данных коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 917 + 1,5 \cdot 500 = 917 + 750 = 1721 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 545 + 1,5 \cdot 285 = 545 + 428 = 973 \text{ руб.}$$

Расчёт заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  проводим с учётом ранее определённого значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и принятого из таблицы исходных данных коэффициента заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$C_{ЗАВБаз.} = 1721 + 1,15 \cdot 500 = 1721 + 575 = 2296 \text{ руб.};$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 973 + 1,15 \cdot 285 = 973 + 328 = 1301 \text{ руб.}$$

Сводные данные, которые используются для расчёта заводской себестоимости по проектному и базовому вариантам технологии, представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Исходные данные и расчёт заводской себестоимости

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
«1. Затраты на материалы	М	130	59
2. Фонд заработной платы	ФЗП	560	320
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	190	109
4. Затраты на оборудование	Зоб	91	57
5. Технологическая себестоимость	Стех	917	545
6. Цеховые расходы	Рцех	750	428
7. Цеховая себестоимость	Сцех	1721	973
8. Заводские расходы	Рзав	575	328
9. Заводская себестоимость» [16]	$C_{зав}$	2296	1301

На основании данных в таблице 16 можно выполнить предварительную оценку эффективности предлагаемых технологических решений. Проектная технология характеризуется меньшими по сравнению с базовым вариантом технологической себестоимостью, цеховой себестоимостью и заводской себестоимостью.

#### **4.5 Оценка капитальных затрат по базовой и проектной технологиям**

Вычисление капитальных затрат  $K_{общ.б.}$  при реализации базового варианта технологии выполняем с использованием ранее рассчитанного коэффициента загрузки оборудования  $K_{з.б.}$  и стоимости оборудования  $Ц_{об.б.}$ , которые были определены для базового варианта технологии:

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

Расчёт остаточной стоимости оборудования, которое применялось для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, проводим с учётом срока его службы  $T_c$ , рыночной стоимости оборудования  $C_{\text{перв}}$  и нормы амортизации  $H_a$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 98000 - (98000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 35000 \text{ руб.};$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 35000 \cdot 0,60 = 21000 \text{ руб.}$$

Величина капитальных затрат  $K_{\text{общ. пр.}}$  на осуществление технологии по проектному варианту определяется с учётом затрат на производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , сопутствующих затрат  $K_{\text{соп}}$  и затрат на оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$ :

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

Величина капитальных вложений в оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$  рассчитывается по цене оборудования  $C_{\text{об. пр.}}$  с учётом коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{зп}}$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{\text{тз}}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $K_{\text{об. пр.}} = 540000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 227000 \text{ руб.}$

Величина сопутствующих капитальных затрат  $K_{\text{соп}}$  при реализации проектной технологии может быть рассчитана с учётом расходов  $K_{\text{монт}}$  на монтаж оборудования для выполнения операций по проектной технологии и расходов  $K_{\text{дем}}$  на демонтаж оборудования для выполнения операций по базовой технологии:

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

Величина затрат на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  и монтаж  $K_{\text{монт}}$  оборудования вычисляется с учётом стоимости оборудования по базовому и проектному вариантам технологии из таблицы исходных значений:

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

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 98000 \cdot 0,05 = 5000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{монт}} = 540000 \cdot 0,05 = 27000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{сop}} = 5000 + 27000 = 32000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{общ.пр.}} = 227000 + 32000 = 259000 \text{ руб.}$$

Объём дополнительных капитальных затрат для организации производства по осуществлению проектного варианта технологии вычисляем как:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $K_{\text{доп}} = 259000 - 21000 = 238000 \text{ руб.}$

Удельные капитальные вложения  $K_{\text{уд}}$  для базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитываем с учётом величины годовой программы  $P_{\text{г}}$  как:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$K_{\text{удБаз.}} = 259000 / 1000 = 259 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 21000 / 1000 = 21 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Расчёт показателей экономической эффективности

Снижение трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса вычисляется по штучному времени по базовому варианту технологии  $t_{шт.б.}$  и штучному времени по проектному варианту технологии  $t_{шт.пр.}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $\Delta t_{шт} = (1,33 - 0,76) \cdot 100 \% / 1,33 = 43 \%$ .

Повышение производительности труда  $\Pi_t$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется по рассчитанному ранее снижению трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $\Pi_t = (100 \cdot 43) / (100 - 43) = 75 \%$ .

Снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется по ранее определённым технологической себестоимости базового и проектного вариантов:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $\Delta C_{тех} = (917 - 545) \cdot 100 \% / 917 = 41 \%$ .

Условно-годовая экономия (ожидаемая прибыль) рассчитывается согласно:

$$Пр_{ож} = Э_{у2} = (C_{зав. баз} - C_{зав. пр}) \cdot П_2. \quad (29)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $Э_{у.Г.} = (2296 - 1301) \cdot 1000 = 995000$  руб.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений вычисляем как:

$$T_{ок} = K_{дон} / Э_{у2}. \quad (30)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $T_{ок} = 238000 / 995000 = 0,2$  года

Годовой экономический эффект  $Э_г$ , который получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется как

$$Э_г = Э_{у2} - E_n \cdot K_{дон} \quad (31)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $Э_г = 995000 - 0,33 \cdot 238000 = 917000$  руб.

#### Выводы по экономическому разделу

По базовому варианту технологии сварка трубопровода происходит с использованием стальных труб и применением ручной дуговой сварки. Недостатками базовой технологии являются: низкая стабильность качества сварки, малая производительность работ, значительные финансовые затраты на обеспечение безопасности персонала.

В проектном варианте технологии предлагается провести сварку полимерного трубопровода.

На основании анализа способов сварки полимерных материалов принято решение использовать сварку нагретым инструментом. Для

обеспечения качества сварки предложен способ, разработанный отечественными исследователями сварщиками.

В результате применения этой разработки следует прогнозировать снижение разбрызгивания и повышение качества наплавки, производительность будет повышена в два раза.

В ходе проведения экономических расчётов установлено, что трудоёмкость выполнения операций технологического процесса уменьшилась на 43 %, а производительность труда увеличилась 75 %. За счёт снижения сопутствующих расходов и расходов на заработную плату технологическая себестоимость уменьшается на 41 %. Условно-годовая экономия при реализации проектного варианта технологии составляет 0,995 млн. рублей.

Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 0,917 млн. рублей. Затраты на внедрение проектной технологии окупятся за 0,2 года.

## Заключение

В выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварочных работ при строительстве трубопроводов из полимерных материалов.

По базовому варианту технологии сварка трубопровода происходит с использованием стальных труб и применением ручной дуговой сварки. Недостатками базовой технологии являются: низкая стабильность качества сварки, малая производительность работ, значительные финансовые затраты на обеспечение безопасности персонала.

В проектом варианте технологии предлагается провести сварку полимерного трубопровода.

На основании анализа способов сварки полимерных материалов принято решение использовать сварку нагретым инструментом. Для обеспечения качества сварки предложен способ, разработанный отечественными исследователями сварщиками.

В результате применения этой разработки следует прогнозировать снижение разбрызгивания и повышение качества наплавки, производительность будет повышена в два раза.

Предложены мероприятия по защите рабочего персонала и предприятия от возникающих пожаров, что выполнено путём идентификации опасных факторов пожара и назначения способов устранения этих факторов. Предложены стандартные средства и мероприятия по устранению опасности возникновения пожара и тушению пожара, если он произошёл.

При оценке экологичности проектного технологического процесса рассмотрены отрицательные воздействия результатов проведения процесса на окружающую среду – атмосферу, гидросферу и литосферу. Предложенные в разделе мероприятия позволяют выполнить экологические требования, предъявляемые предприятию со стороны природоохранных организаций.

Установлено, что устранение опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектного технологического процесса, может быть осуществлено с применением стандартных средств и методик защиты.

В ходе проведения экономических расчётов установлено, что трудоёмкость выполнения операций технологического процесса уменьшилась на 43 %, а производительность труда увеличилась 75 %. За счёт снижения сопутствующих расходов и расходов на заработную плату технологическая себестоимость уменьшается на 41 %. Условно-годовая экономия при реализации проектного варианта технологии составляет 0,995 млн. рублей.

Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 0,917 млн. рублей. Затраты на внедрение проектной технологии окупятся за 0,2 года.

На основании вышеизложенного поставленную цель можно считать достигнутой.

Результаты выпускной квалификационной работы предлагаются к внедрению на предприятиях, выполняющих прокладку полимерных трубопроводов.

## Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Адаменко А. А., Кораб Г. Н., Тарногородский В. П. Повышение качества соединений пластмассовых труб, выполненных контактно-тепловой сваркой // Автоматическая сварка. 1983. № 3. С. 51–53.
2. Аксенова Г. В., Кашковская Е. А. Контроль качества сварных соединений труб из полиэтилена по характеру разрушения при осевом растяжении // Автоматическая сварка. 1980. № 2. С. 61–63.
3. Алёшин Н. П., Чернышов Г. Г. Сварка. Резка. Контроль: справочник в 2-х томах. М.: Машиностроение, 2004. Том. 2. 480 с.
4. Аммосова О. А., Герасимов А. И., Старостин Н. П. Сварка полиэтиленовых труб встык при температурах воздуха ниже нормативных. Ч. 1 // Пластические массы. 2008. № 9. С. 38–41.
5. Аммосова О. А., Герасимов А. И., Старостин Н. П. Сварка полиэтиленовых труб встык при температурах воздуха ниже нормативных. Ч. 2 // Пластические массы. 2008 № 10. С. 45–46.
6. Бартенев, Г. М. Физика и механика полимеров. М. : Высшая школа, 1983. 391 с.
7. Банов М. Д., Казаков Ю. В., Козулин М. Г. Сварка и резка материалов : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.
8. Герасимов А. И., Ботвин Г.В., Данзанова Е. В. Способы испытания сварного соединения полимерных труб // Арктика XXI век. Технические науки. 2013. № 1. С. 64–76.
9. Гринюк В. Д., Шадрин А. А., Золотарь А. В. Микроструктура и качество стыковых сварных соединений полиэтилена // Автоматическая сварка. 1990. № 11. С. 23–26.
10. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

11. Зайцев К. И., Мацук Л. Н. Сварка пластмасс. М.: Машиностроение, 1978. 224 с.
12. Зубаиров Т. А., Мастобаев Б. Н., Фаттахов М. М. Анализ основных нормативных документов на полимерные материалы для газопроводов // Научно-информационный сборник Нефтегазохимия. Выпуск 3. Москва, 2014. С. 25–27.
13. Зубаиров Т. А. Развитие технологии изготовления и применения труб из полимерных и композитных материалов : дис. ... канд. техн. наук : 07.00.10; Уфимский государственный нефтяной технический университет. Уфа, 2015, 125 с.
14. Капгородов Г. К., Каргин В. Ю. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность // Трубопроводы и экология. 2001. № 2. С.13–14.
15. Комаров Г. В. Соединения деталей из полимерных материалов: учеб. пособие. СПб. : Профессия, 2006. 592 с.
16. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
17. Нестеренко Н. П., Сенчиков И. К., Червинко О. П., Менжерес М. Г. Моделирование температурных полей и напряжений в полиэтиленовых трубах при сварке нагретым инструментом // Автоматическая сварка. № 2. 2009. С. 11–15.
18. Николаев А. Г. (пред.) Сварка в машиностроении : справочник в 4-х т. М. : Машиностроение, 1978. Том 2. 462 с.
19. Ращепкин А. К. Обеспечение безопасности трубопроводов нефтегазового комплекса совершенствованием конструкции и технологии монтажа комбинированных труб из термопластов : Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Уфа: Институт проблем транспорта энергоресурсов, 2007.

20. Родионов А. К., Бабенко Ф. И., Коваленко Н. А. Трещиностойкость сварных стыковых соединений полиэтиленовых труб // Материалы. Технологии. Инструменты. 2003. № 3. С. 19–20.

21. Старостин Н. П., Амосова О. А. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды // Сварочное производство. 2007. № 4. С. 17–20.

22. Тростянская Е. Б., Комаров Г. В., Шишкин В. А. Сварка пластмасс. М. : Машиностроение, 1967. 252 с.

23. Ялышко Г. Ф. Сварка и монтаж трубопроводов из полимерных материалов. М : Стройиздат, 1990. 223 с.