

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные  
процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Сварка и пайка при строительстве промышленных трубопроводов

Студент

К.С. Ишмухаметов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

(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 2020

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологии выполнения стыковых соединений на промышленных трубопроводах. В соответствии с базовой технологией сварка стыка трубопровода выполняется с применением ручной дуговой сварки штучными электродами.

В ходе выполнения анализа состояния вопроса было рассмотрено сварное соединение стыка промышленного нефтепровода. Выявлены недостатки базовой технологии сварки промышленного нефтепровода с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами: 1) Большое число дефектов из-за применения ручной дуговой сварки; 2) Тяжёлые условия труда сварщиков; 3) Низкая производительность сварки.

Устранение недостатков было произведено путём решения следующих задач: 1) Обоснованный выбор способа соединений при строительстве промышленных трубопроводов; 2) Составление альтернативных технологий соединения при строительстве промышленных трубопроводов.

В качестве альтернативных технологий получения соединений при строительстве промышленных трубопроводов предложены механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения и индукционная пайка.

По результатам экономических расчётов принято решение использовать индукционную пайку. Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,5 млн. рублей.

Результаты выпускной квалификационной работы могут быть внедрены в производство при выполнении соединений на промышленных трубопроводах.

## Содержание

Введение .....	5
1 Состояние вопроса сварки и пайки промышленных трубопроводов .....	6
1.1 Сведения о конструкции изделия .....	6
1.2 Сведения о материале трубопровода .....	7
1.3 Базовая технология сборки и сварки. ....	9
1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации. ....	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	17
2 Проектная технология строительства промышленного трубопровода. ....	18
2.1 Обоснование выбора способа соединений трубопровода .....	18
2.2 Технология механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения .....	24
2.3 Технология индукционной пайки стыков трубопровода .....	29
Заключение по второму разделу. ....	32
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений ...	33
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	33
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений .....	34
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	36
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	37
3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений. ....	39
3.6 Заключение по разделу .....	40
4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений .....	41

4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов . .	41
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	43
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	44
4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки . . .	48
4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам . . . . .	55
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений . . . . .	59
Заключение по экономическому разделу . . . . .	62
Заключение . . . . .	63
Список используемой литературы . . . . .	64

## Введение

Промысловый трубопровод является ответственной металлической конструкцией, эксплуатация которой сопровождается возникновением техногенных рисков. Длительная безаварийная эксплуатация трубопровода в первую очередь зависит от правильности его строительства. Стабильная поставка энергоресурсов потребителям в Российской Федерации, странах Европы и зависит от состояния (безопасность и надежность) системы промышленных и магистральных трубопроводов. По имеющимся в настоящее время статистическим данным наблюдается стабильный рост добычи и поставок объемов газа и нефти. Так, к 2020 году планируемый объём добычи газа должен составить 670 млрд м<sup>3</sup> [1].

В технологии строительства промышленных трубопроводов главной операцией является операция сварки. Для наращивания российского присутствия на мировом энергетическом рынке необходимо обеспечить стабильность качества сварочных работ и повысить их производительность. В этом случае вместе с повышением конкурентоспособности российских энергоресурсов будет решена задача обеспечения их доступности для внутреннего потребителя, что приведёт к достижению российской экономикой новых высот и дальнейшему росту благосостояния российского народа. При строительстве промышленных трубопроводов могут применяться различные способы соединений труб: ручная дуговая сварка, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой, сварка под флюсом, и даже индукционная пайка. Однако, самое широкое применение получила ручная дуговая сварка штучными электродами.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности соединения труб при строительстве промышленных трубопроводов за счёт применения перспективных способов сварки и пайки.

# 1 Состояние вопроса сварки и пайки промышленных трубопроводов

## 1.1 Сведения о конструкции изделия

Согласно ГОСТ 57955-2017 промышленные нефтепроводы и газопроводы могут быть отнесены к сооружениям газонефтедобывающих производств. По статистическим данным протяжённость промышленных трубопроводов ПАО «Газпром нефть» составляет суммарно более 12 тысяч км. При этом около 35 % относится к нефтесборным сетям, 21 % относится к напорным нефтепроводам, на долю водоводов высокого давления приходится порядка 26 % (рис. 1.1, а). Существующие трубопроводы могут быть разделены по сроку эксплуатации на несколько возрастных категорий (рис. 1.1, б): до 5 лет, 5...10 лет, 10...15 лет, 15...20 лет и более 20 лет.

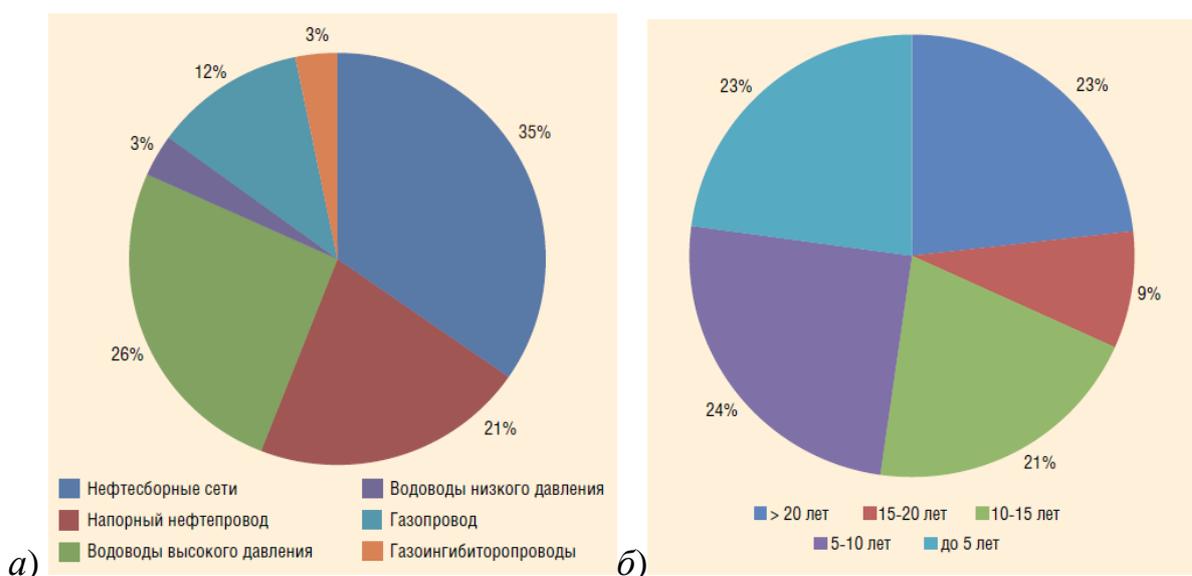


Рисунок 1.1 – Технологический состав действующих промышленных трубопроводов (а) и парк действующих промышленных трубопроводов (б) ПАО «Газпром нефть»

Типовой промышленный нефтепровод высокого давления (рис. 1.2) может быть отнесён к I классу трубопроводов в соответствии с СП 284.1325800.2016 «Трубопроводы промышленные для нефти и газа.

Правила проектирования и производства работ». Этот трубопровод имеет диаметр 426 мм и является нефтяным сборным коллектором. Толщина стенки трубопровода составляет 10 мм. Рабочая скорость движения нефти по трубопроводу составляет 5...9 км/ч.



Рисунок 1.2 – Промысловый нефтепровод диаметром 1020 мм

## 1.2 Сведения о материале трубопровода

Трубы нефтепровода выполнены из стали 17Г1С-У (ГОСТ 20295-85) классом прочности труб **K52**.

**Сталь 17Г1С** нашла применение при изготовлении сварных металлоконструкций, которые работают под давлением в условиях действия температур от -40 до +475 °С. Также эта сталь применяется для изготовления элементов технологических трубопроводов, передающих пар и горячую воду с температурой среды не более 350 °С и рабочим давлением не более 2,2 МПа (22 кгс/см<sup>2</sup>). Указанная сталь применяется при строительстве нефтепроводов и газопроводов с трубами класса прочности К 52 (электросварные прямошовные трубы).

Равнопрочность металла шва и основного металла может быть достигнута благодаря легированию шва элементами, которые переходят из основного металла. Также повышение прочности металла шва и его стойкости против хрупкого разрушения может быть достигнуто путём дополнительного легирования металла шва через сварочную проволоку.

Стойкость против трещин может быть повышена путём снижения содержания в металле шва таких элементов как углерод и сера, что достигается применением сварочной проволоки с пониженным содержанием углерода и серы. Существенное влияние на прочность сварных соединений оказывает правильный выбор соответствующей технологии сварки, предусматривающей рациональную последовательность выполнения швов и обеспечивающей благоприятную форму провара.

Таблица 1.1 – Содержание химических элементов в стали 17Г1С

С	Mn	Si	Ni	S	P	C <sub>экв</sub>
0,18	1,48	0,39	0,10	0,03	0,022	0,43

Характер изменения прочностных характеристик трубных сталей в зависимости от температуры нагрева, а также возможность выполнения дуговой сварки на трубопроводе достаточно хорошо изучены [16].

Таблица 1.2 – Механические свойства при T=20 °С стали 17Г1С

Сортамент	$\sigma_B$	$\sigma_T$	d <sub>5</sub>	KCU
-	МПа	МПа	%	кДж / м <sup>2</sup>
Лист	510	345...355	23	390...440
Трубы	490	343	20	

В результате нагрева при сварке элементов трубопровода из стали 17Г1С наблюдается существенное изменение прочности в зависимости от температуры нагрева. Так, при нагреве до температуры выше 400 °С наблюдается резкое снижение прочности стали, а нагреве до температуры 720 °С прочность стали приближается к нулю. В связи с этим, следует заключить, что ремонтную сварку трубопроводов из стали 17Г1С следует выполнять с получением минимального проплавления стенки труб, стремясь уменьшить объём зоны, нагреваемой до критических температур.

### 1.3 Базовая технология сборки и сварки

Перед сборкой следует выполнить осмотр поверхности и кромок труб.

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

Обнаруженные забоины и задиры фасок, имеющие глубину до 5 мм следует заплавлять дуговой сваркой с использованием электродов, имеющих основной вид покрытия (ОК 53.70 Ø3,2 мм) при этом следует применять предварительный подогревом до 100...130 °С.

Отремонтированные поверхности кромок труб следует зачистить шлифованием, восстанавливая разделку кромок (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Разделка кромок

При обнаружении вмятин на торцах труб, имеющих глубину до 3,5% от диаметра трубы, их следует выправлять с применением безударного разжимного устройства, выполняя местный предварительный подогрев 100...150 °С изнутри трубы.

Если на концах труб имеются забоины и задиры, имеющие глубину более 5 мм, обнаружены расслоения, трещины и надрывы, а также имеются

вмятины, глубина которых превышает 3,5% наружного диаметра, такие концы должны быть отрезаны, так как исправлению они не подлежат.

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

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

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

Для выполнения подготовки торцев труб используются ультразвуковой толщиномер, ультразвуковой дефектоскоп УД-303, шаблон сварщика УШС-3, линейка, штангенциркуль, шлифмашинка, шлифкруги, дисковая проволочная щётка, источник сварочного тока ВД-306Д, разжимное приспособление, газовая горелка, пирометр типа ИК-6020, термокарандаш, щиток защитный лицевой, машина для кислородной резки «Комета».

Сборку стыка труб выполняют при помощи наружного центратора. При этом смещение кромок должно быть не более 3 мм и не более 20% от толщины стенки трубы.

Зазор между трубами должен быть  $3 \pm 0,5$  мм. Если зазор имеет меньшую величину, необходимо выполнить калиброванный пропил толщиной от 2,5 до 3,5 мм.

Заводские продольные швы труб следует смещать на величину не менее 100 мм друг от друга.

При сборке труб используются: наружный центратор типа Ж08А7985, шаблон сварщика УШС-3, металлическая линейка.

Перед выполнением прихваток следует подогреть зону сварки с использованием газовым пламенем. Температура подогрева 100...130 °С, если температура окружающего воздуха ниже 0 °С. Если температура окружающего воздуха ниже +5 °С, предварительный подогрев стыка труб следует вести до температуры 50...80 °С. Зона предварительного подогрева должна иметь ширину менее 75 от оси стыка труб.

Температуру предварительного подогрева следует контролировать не менее, чем в 4-х точках, равномерно разнесённых по периметру стыка и расположенных от торца труб на расстоянии 10...15 мм.

Для предварительного подогрева применяется: кольцевой подогреватель стыков, газовая горелка, пирометр типа ИК-6020, термокарандаш.

Для прихваток используют электроды марки LB-52U диаметрами Ø2,6 мм и Ø3,2 мм. Значения параметров режима при выполнении прихваток такие же, как и при сварке корневого слоя шва. Прихватки должны быть расположены не ближе 100 мм от продольного шва трубы. Сварку прихваток выполняют те же сварщики, которые потом будут выполнять основной шов. К прихваткам предъявляются те же требования по качеству, что и к корневому слою шва.

При выполнении прихваток запрещено применять присадки, закладываемые в разделку или подаваемые в зону сварки.

После выполнения прихваток их следует зачистить при помощи шлифмашинки.

Для выполнения прихваток применяются: наружный центратор типа Ж08А7985, источник сварочного тока ВД-306Д, газовая горелка, шлифмашинка, металлическая щетка, шаблон сварщика УШС-3, линейка.

Сварку стыка труб следует вести в присутствии аттестованного специалиста сварочного производства (II или III уровня).

К выполнению сварки допускаются сварщики, которые закончили обучение в соответствии с «Правилами аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства» ПБ 03-273-99 и которым было выдано удостоверение установленного образца с допуском к сварке трубопроводов согласно СТО Газпром 2-2.2-136-2007.

Перед допуском к сварочным работам на трубопроводе сварщики должны пройти допускные испытания в соответствии с СТО Газпром 2-2.2-136-2007.

Непосредственно перед сваркой и в процессе сварки следует контролировать температуру стыка. Если возникла необходимость, стык следует дополнительно подогреть.

Корневой слой шва выполняется электродами марки ОК-53.70 Ø2,5 или электродами марки LB-52U Ø3,2 мм. Значения параметров режима сварки приведены в таблице 1.2. При сварке корневого слоя шва прихватки следует полностью переплавлять. Снятие наружного центризатора допускается, если было выполнено не менее 60% периметра корневого слоя шва.

Таблица 1.3 – Значения параметров режима сварки стыка трубопровода

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

После сварки корневого слоя шва его следует зачистить абразивным кругом.

Далее изнутри трубы выполняют визуальный контроль корневого слоя шва. При обнаружении непроваров, несплавлений и смещения кромок более 2 мм следует выполнить подварку изнутри электродами марки LB-52U, Ø2,6

мм, Ø3,2 мм. Выполнение подварочного слоя происходит перед сваркой заполняющего слоя, подварочный слой должен быть шириной 8...10 мм и иметь усиление 1...3 мм.

Заполняющие и облицовочный слои шва выполняют с использованием электродов типа Э60, при этом значения параметра режима сварки соответствуют таблице 1.2. Сварка выполняется непрерывно, пока разделка стыка не будет полностью заполнена. Смещение замков на каждом последующем слое по отношению к предыдущему должно быть на 30 мм - от начала и на 70 мм – от места окончания сварки слоя. Последний заполняющий и облицовочный слои выполнить в 2 прохода. Перекрытие валиков сварного шва должно быть не менее чем на 1/3 от ширины валика.

Перекрытие облицовочным слоем основного металла должно быть в пределах 2,5...3,0 мм в каждую сторону от разделки кромок. При этом усиление облицовочного шва должно быть 1...3 мм.

После завершения каждого прохода следует выполнять послыйную зачистку, удаляя шлак и брызги.

Если температура окружающего воздуха ниже +5 °С, следует после окончания сварки накрыть сваренный стык влагонепроницаемым теплоизолирующим поясом и выдерживать его так до полного остывания.

Прилегающую поверхность труб следует зачистить от шлака и брызг. Следует осмотреть облицовочный шов на предмет наличия грубых участков поверхности, на которых глубина межваликовой канавки составляет более 1 мм. Такие участки следует зачистить. Также зачищать следует участки, на которых усиление шва превышает 3 мм.

Для сварки применяют: источник сварочного тока ВД-306Д, шлифмашинка, металлическая щетка, пирометр типа ИК-6020, шаблон сварщика УШС-3, напильник, молоток, зубило, кисть, краска, термокарандаш.



Рисунок 1.3 – Параметры сварного шва

Контроль качества сварных швов выполняют визуально-измерительный и радиографический. Объём визуально-измерительного контроля – 100%. Облицовочный слой должен быть с плавными переходами к основному металлу, не допускается наличие наплывов и подрезов глубже 0,5 мм. Также не допускаются выходящие на поверхность наружные поры, свищи и незаваренные кратеры.

Объём радиографического контроля – 100%, контроль проводится в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-2.4-083-2006. Не допускаются трещины любой длины и глубины и непровары.

Для контроля качества применяют: аппарат рентгеновского контроля РПД-200, шаблон сварщика УШС-3.

Недостатками базовой технологии с применением ручной дуговой сварки являются:

- 1) Значительное количество дефектов, появление которых обусловлено применяемым способом сварки.
- 2) Тяжёлые условия труда сварщиков.
- 3) Малая производительность сварочных работ.

#### **1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации**

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы был выполнен поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности соединения труб при строительстве стальных трубопроводов. Поиск информации велся в сети ИНТЕРНЕТ с использованием поисковой системы GOOGLE по ключевым словам «сварка трубопроводов», «повышение эффективности», «аттестация технологии», «Автоматическая сварка», «Сварочное производство», «Сварка и диагностика», «диссертация».

Для последующего анализа было отобрано пять источников научно-технической информации [9...13].

В первой работе [9] представлены результаты исследования стабильности горения дуги при сварке порошковыми проволоками с металлическим сердечником, которые позволили определить состав минеральной составляющей сердечника, обеспечивающий высокие показатели стабильности процесса сварки и снижение потерь электродного металла при сварке в защитных газах. Результаты этой работы показывают высокую эффективность механизировано сварки порошковой самозащитной проволоки при строительстве трубопроводов. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа сварки и составлении проектной технологии сварки, если будет принято решение использовать сварку порошковой самозащитной проволокой.

Во второй работе [10] разработана модель для расчета глубины проплавления при сварке в углекислом газе на токе обратной полярности. Полученная эмпирическая формула обеспечивает наибольшую простоту и точность инженерных и научных расчетов глубины проплавления при механизированной сварке и позволяет проводить ее экспресс-оценку.

Результаты этой работы доказывают высокую эффективность механизированной сварки с углекислом газе проволокой сплошного сечения. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа сварки и составлении проектной технологии сварки, если будет принято решение использовать механизированную сварку в углекислом газе проволокой сплошного сечения.

В третьей работе [11] рассмотрены принципы построения покрытия низководородных электродов нового поколения для судоремонта, ремонта объектов металлургического комплекса, трубопроводного транспорта и приведены их технические характеристики. Результаты этой работы показывают, что ручная дуговая сварка не потеряла своей актуальности при строительстве ответственных конструкций. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа сварки и составлении проектной технологии сварки, если будет принято решение использовать ручную дуговую сварку штучными электродами.

В четвёртой работе [12] приведен обзор публикаций по автоматическому управлению процессом сварки в углекислом газе с короткими замыканиями дугового промежутка, а также алгоритмы управления на каждом этапе цикла сварки. Результаты этой работы доказывают высокую эффективность механизированной сварки с углекислом газе проволокой сплошного сечения. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа сварки и составлении проектной технологии сварки, если будет принято решение использовать механизированную сварку в углекислом газе.

В пятой работе [13] показано, что импульсный характер подачи электродной проволоки оказывает существенное влияние на ток дугового процесса, и, как следствие, скорость плавления электродной проволоки, вызывая их колебания. Результаты этой работы доказывают высокую эффективность механизированной сварки с углекислом газе проволокой

сплошного сечения. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа сварки и составлении проектной технологии сварки, если будет принято решение использовать механизированную сварку в углекислом газе.

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

В ходе выполнения анализа состояния вопроса было рассмотрено сварное соединение стыка промышленного нефтепровода. Выявлены недостатки базовой технологии сварки промышленного нефтепровода с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами: 1) Большое число дефектов из-за применения ручной дуговой сварки; 2) Тяжёлые условия труда сварщиков; 3) Низкая производительность сварки.

Устранение недостатков может быть произведено путём решения следующих задач: 1) Обоснованный выбор способа соединений при строительстве промышленных трубопроводов; 2) Составление альтернативных технологий соединения при строительстве промышленных трубопроводов.

В ходе выполнения исполнительской части выпускной квалификационной работы следует рассмотреть возможные способы соединения труб при строительстве промышленных нефтепроводов и предложить две альтернативные технологии соединения труб.

Выполнение оценочной части, которая будет проводиться после решения задач, предусматривает:

1) анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство; 2) оценку экономической эффективности предлагаемых технических решений, при которой следует рассмотреть две альтернативные технологии соединения труб в промышленном трубопроводе и выбрать наиболее эффективную технологию.

## 2 Проектная технология строительства промыслового трубопровода

### 2.1 Обоснование выбора способа соединений трубопровода

Самым простым и давно используемым способом сварки можно считать **ручную дуговую сварку штучными электродами** (рис. 2.1).

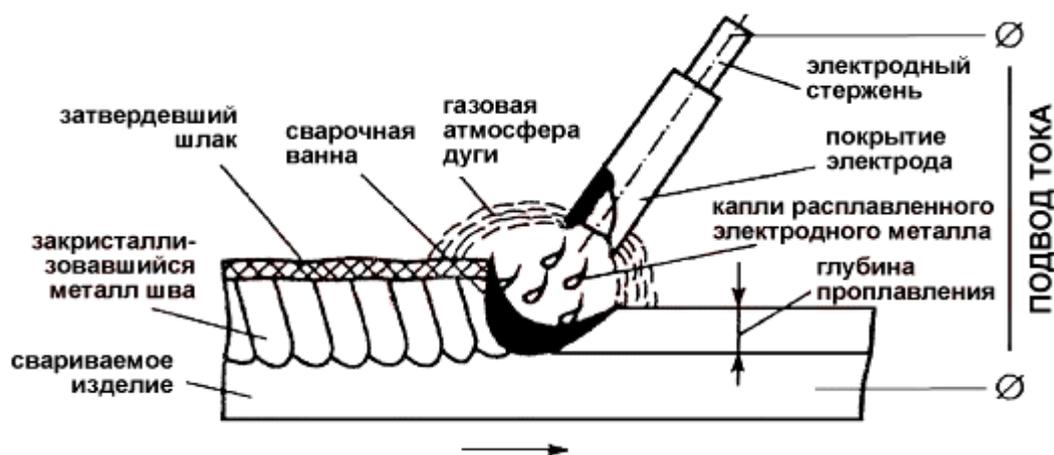


Рисунок 2.1 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучными электродами

Преимуществами этого способа являются простота применяющегося оборудования, составления технологии и метрологического обеспечения. При условии обеспечения равномерного плавления металла электрода и обмазки можно гарантировать качественную шлаковую защиту наплавленного слоя. За счёт обмазки электрода существует возможность дополнительного легирования наплавленного металла. Несмотря на своё широкое и давнее применение, ручная дуговая наплавка имеет ряд недостатков, которые в настоящий момент заставляют искать более перспективные способы восстановления деталей. Первым таким недостатком является малая производительность наплавочных работ. Вторым недостатком является тяжёлые условия ручного труда сварщика. Третьим недостатком является малая стабильность качества наплавки, которая существенно

зависит от технологических факторов и от квалификации самого сварщика. Также следует отметить, что частая смена электродов вызывает периодическое прерывание процесса наплавки и потери электродного металла на огарки.

Механизированная сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов (рис. 2.2) достаточно широко распространена и в настоящее время продолжает совершенствоваться. При этом достаточно широк диапазон применяемых сварочных материалов от малоуглеродистых сталей до среднелегированных сталей и даже нержавеющей сталей. Углекислый газ, являющийся защитной средой, считается легкодоступным и относительно недорогим.

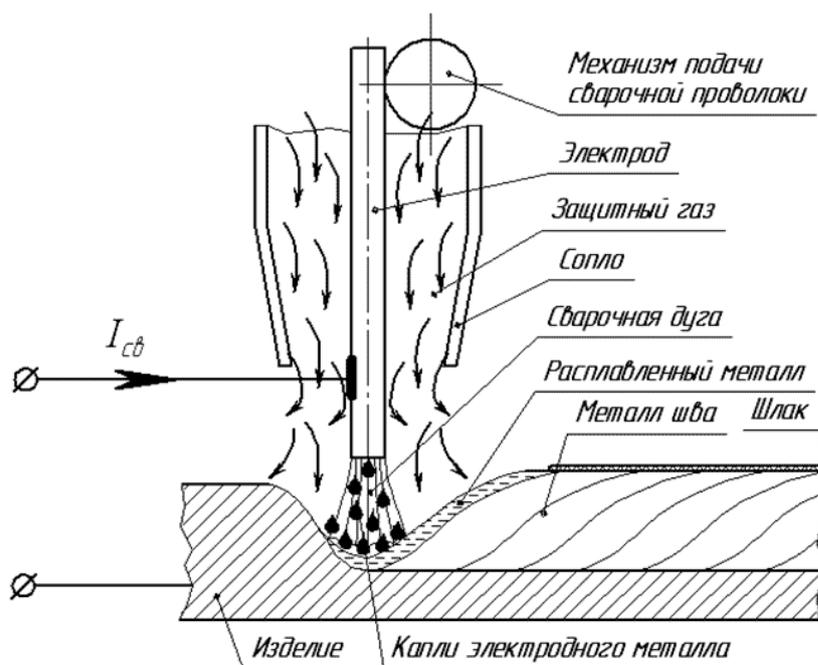


Рисунок 2.2 – Схема механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения

Совершенствованию сварки в углекислом газе посвящено большое количество работ. Их анализ позволяет сделать вывод, что, улучшение условий формирования металла сварного шва может быть достигнуто при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну. Импульсное управление электрическими параметрами сварочной дуги

и постоянное изменение скорости подачи электродной проволоки широко применяются в таких процессах, как ColdArc, SpeedPulse, STT, Fast Root CMT и PulseShock.

В настоящее время нашли промышленное применение отечественные разработки области управления горением дуги за счёт изменения скорости подачи электродной проволоки [14, 15]. Эти разработки основаны на применении современных электроприводов, конструкция которых основана на вентильных электродвигателях. Получена возможность задания произвольного алгоритма движения электродной проволоки.

Сварка самозащитными порошковыми проволоками (рис. 2.3) обладает положительными свойствами как ручной дуговой сварки, так и механизированной сварки проволоками сплошного сечения. Эта сварка предоставляет существенные производственные преимущества, особенно в монтажных условиях. При сварке самозащитными проволоками отсутствует необходимость в газовой аппаратуре (баллоны, шланги, редукторы), флюсах и флюсовой аппаратуре, применение которых может существенно усложнить процесс сварки и увеличить его трудоемкость [19, 20].



Рисунок 2.3 – Схема сварки порошковой самозащитной проволокой

Сварка под флюсом (рис. 2.4) имеет большую производительность, чем сварка в защитных газах. Также при сварке под флюсом потери электродного металла из-за разбрызгивания сведены к минимуму. Так как сварочная дуга

закрыта слоем флюса, улучшаются условия труда сварщика, не требуется дополнительных мер защиты от излучения дуги.

При сварке под флюсом горение сварочной происходит между сварочным электродом и наплавляемым изделием. При этом на поверхности изделия образуется ванночка расплавленного металла. Сам участок горения дуги покрыт толстым слоем сыпучего флюса. Под действием дуги происходит частичное расплавление флюса, в нём образуется полость с эластичной оболочкой из шлака, в которой и горит сварочная дуга. Слой расплавленного шлака защищает жидкий и перегретый металл от контакта с воздухом, устраняет разбрызгивание электродного металла, сохраняет тепло сварочной дуги.

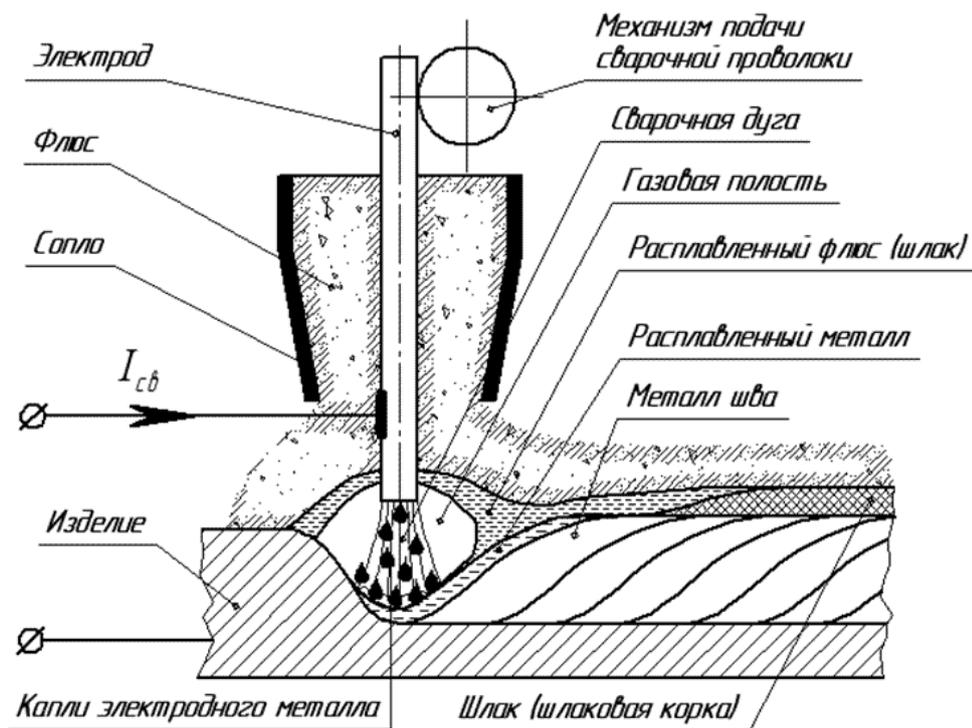


Рисунок 2.4 – Схема сварки под флюсом

Таким образом, обоснованный выбор способа сварки промышленных трубопроводов может быть выполнен на основании анализа рассмотренных способов сварки (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Анализ преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки

Наименование способа	Преимущества способа	Недостатки способа
Ручная дуговая сварка штучными электродами	1) Простота и дешевизна оборудования; 2. Возможность сварки в различных пространственных положениях; 3. Высокая мобильность сварщика.	1. Низкая производительность; 2. Требуется высокая квалификация сварщика.
Механизованная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения	1. Высокая производительность и экономичность способа; 2. Возможность сварки в различных пространственных положениях.	1. Повышенное разбрызгивание электродного металла; 2. Ограниченная подвижность сварщика; 3. Низкая пластичность наплавленного металла.
Механизованная сварка самозащитной порошковой проволокой	1. Высокая производительность; 2. Упрощается защита сварочной ванны, легирование и раскисление металла; 3. Высокая мобильность сварщика.	1. Малая глубина проплавления; 2. Подверженность порам при изменении вылета и напряжения дуги.
Сварка под флюсом	1. Высокая стабильность качества; 2. Высокая производительность; 3. Возможность сварки больших толщин за один проход.	1. Сложности нанесения флюса при сварке в вертикальном и потолочном положении; 2. Усложняется сварочное оборудование для сварки 3. Низкая мобильность сварщика.

Для выполнения неповоротных стыков трубопроводов может быть применена и индукционная пайка (рис. 2.5).

Пайка неповоротных стыков труб осуществляется комплексом оборудования, включающим устройства для механической обработки торцов труб под пайку, устройство для сборки и пайки стыков труб и индукционную установку с частотой тока 1-8 кГц. Подготовка труб под пайку заключается в осмотре и очистке торцов и механической их обработке.

Трубы, поступающие на пайку, не должны иметь на торцах забоин и вмятин глубиной более 3,5% диаметра трубы.

Механическую обработку труб производят непосредственно перед процессом пайки. Угол скоса разделки труб должен составлять  $20^\circ$  или  $30^\circ$  (рис. 2.5), шероховатость обработанных поверхностей не лимитируется.

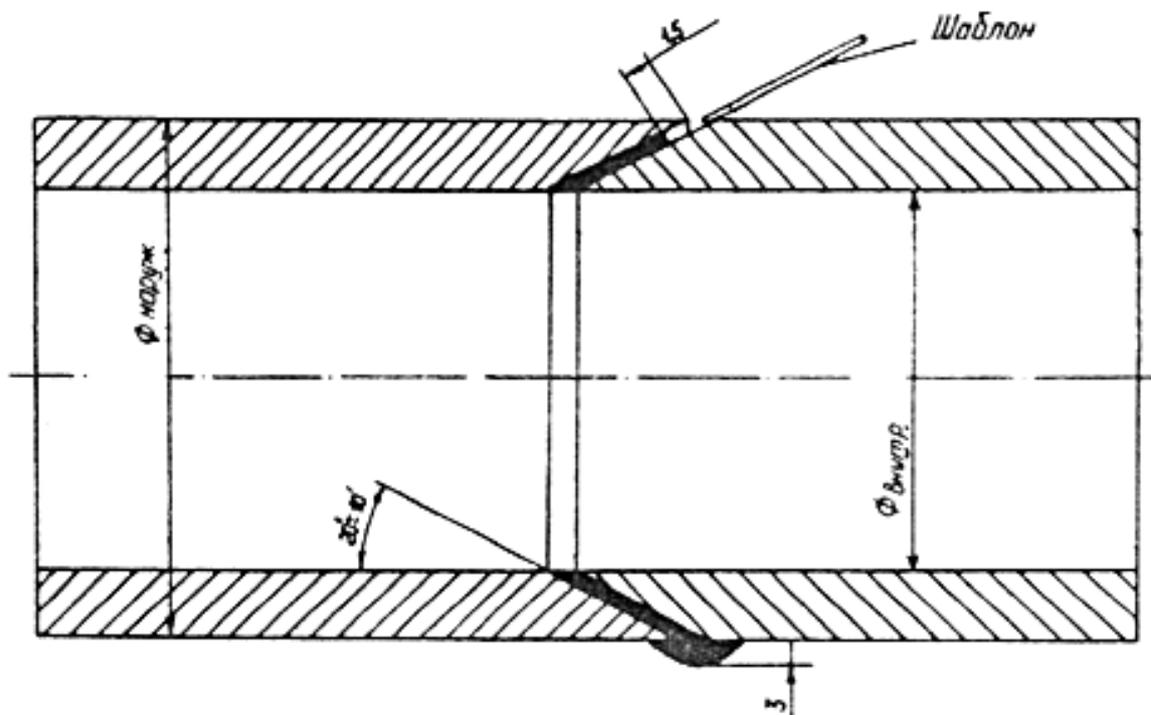


Рисунок 2.5 – Общий вид паяного соединения

Сборка стыков под пайку включает: стыковку и центрирование труб, внесение припоя в стык, установку нагревательного устройства на стык. Стыковка труб осуществляется после установки устройства для сборки и пайки стыков на свободный конец трубопровода или отдельной плети.

Устройство для сборки и пайки стыков представляет собой наружный центратор, обеспечивающий возможность стыковки, центрирования, перемещения и прижатия присоединяемой трубы к концу трубопровода.

Недостатками индукционной пайки трубопроводов является высокий расход электрической энергии, сложность равномерного нагрева стыка труб большого сечения. Поэтому ограничен диаметр соединяемых труб до 426 мм.

## **2.2 Технология механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения**

Перед сборкой следует выполнить осмотр поверхности и кромок труб. Обнаруженные на наружной поверхности труб царапины, риски и задиры устраняют при помощи шлифования, если их глубина составляет 0,2...0,5 мм, а исправление не превысит минусовой допуск на толщину стенки по ТУ или ГОСТ.

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

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

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

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

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

Для выполнения механической обработки торцов труб следует применять станки для подготовки кромок PFM 3456 (рис. 2.5).

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

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

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

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

При сборке недопустима подгонка с применением ударного инструмента.

Перед сваркой следует провести предварительный подогрев стыка. Для предварительного подогрева применяется установка индукционного нагрева (рис. 2.6). Температура предварительного подогрева составляет +100...130 °С.

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

Температура предварительного подогрева замеряется на наружной поверхности труб в четырёх местах, которые должны быть равномерно расположены в каждой четверти периметра стыка. При этом термомпары располагают на расстоянии 10...15 мм и 60...75 мм в обе стороны от свариваемых кромок. Для предварительного подогрева используется набор водоохлаждаемых кабелей для индукционного нагрева труб (производство «Унитех», [www.unitechufa.ru](http://www.unitechufa.ru)), включающий гибкий кабель ВГИК (Водоохлаждаемый гибкий индукционный кабель), являющийся индуктором,

и два токоподвода (ВИТ – Водоохлаждаемый индукционный токоподвод и МТК – Малоиндукционный токоподводящий кабель) (рис. 2.6).

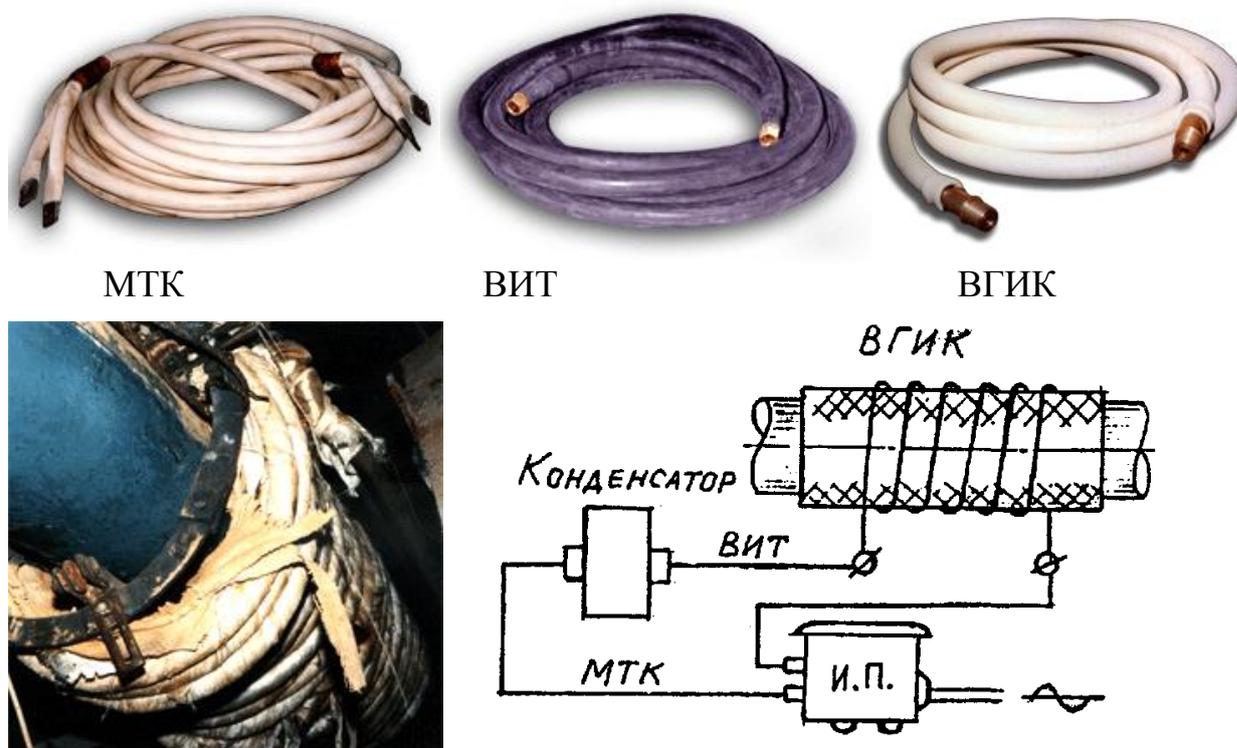


Рисунок 2.6 – Элементы для индукционного нагрева ВГИК, ВИТ и МТК и схема их подключения

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

В качестве источника питания применим сварочный трансформатор ТДМ-501 (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Сварочный трансформатор ТДМ-501

Сварку производим механизированной сваркой проволокой сплошного сечения по технологии STT. Сварку производим проволокой марки L-56 диаметром 1,14 мм производства Lincoln Electric или ее аттестованные аналоги.

Проволока SuperArc L-56 (рис. 2.8) - предназначена в первую очередь для сварки по металлам, покрытым слоем окалины - от среднего до значительного. Для достижения максимального качества сварки её следует использовать по чистым поверхностям без следов смазки и ржавчины.

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

Параметры режима сварки выбираются согласно рекомендациям фирмы Lincoln Electric (табл. 2.4). Вылет электрода составляет 9,5...15,9 мм. Обычной ошибкой при сварке является слишком большой вылет. Для лучшего контроля за вылетом электрода необходимо, чтобы контактный наконечник выступал от торца сопла сварочной горелки на расстоянии 6,4 мм.

Таблица 2.2 – Химический состав проволоки SuperArc L-56

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

Таблица 2.3 – Механические свойства наплавленного металла

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



Рисунок 2.8 – Проволока SuperArc L-56

Таблица 2.4 – Параметры режима сварки по технологии STT проволокой SuperArc L-56 диаметром 1,14 мм

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



Рисунок 2.9 – Источник питания Invertec STT-II с механизмом подачи проволоки LF-33

## 2.2 Технология индукционной пайки стыков трубопровода

Пайку неповоротных стыков труб предложено осуществлять комплексом оборудования, включающим устройства для механической обработки торцов труб под пайку, устройство для сборки и пайки стыков труб и индукционную установку с частотой тока 1...8 кГц.

Предварительно необходимо приготовить кольца припоя. Прессованные кольца припоя изготавливаются по следующей технологии:

- 1) составляется паяльная смесь из порошковых компонентов с указанным соотношением, в вес, %: припой - 94; полиэтилен - 6;
- 2) смесь засыпается в пресс-форму, состоящую из пуансона и матрицы, и производится холодное прессование ее при давлении 2000 кгс/см<sup>2</sup>;
- 3) после прессования пуансон удаляется, матрица с заготовкой кольца помещается в нагревательную печь с температурой +200°С;
- 4) через 7...10 мин матрица вынимается из печи и после затвердевания через 2...3 минуты кольцо припоя снимается. Матрица без дополнительного охлаждения подается на сборку;
- 5) хранение колец припоя производится в стопках с герметичной упаковкой, исключающей попадание на кольца влаги, грязи, пыли и солнечных лучей.

Подготовка труб под пайку заключается в осмотре к очистке торцов и механической их обработке. Трубы, поступающие на пайку, не должны иметь на торцах забоин и вмятин глубиной более 3,5% диаметра трубы.

Механическую обработку труб производить непосредственно перед процессом пайки. Угол скоса разделки труб должен составлять 20° или 30° (рис. 2.10). Шероховатость обработанных поверхностей не лимитируется.

После механической обработки при подаче и стыковке труб необходимо предохранить торцы труб от повреждения.

Перед стыковкой труб производить осмотр их торцов. С торцевых участков труб удалить загрязнения. Жировые загрязнения с паяемых

поверхностей удаляются содовым раствором (концентрация 20%) или керосином.

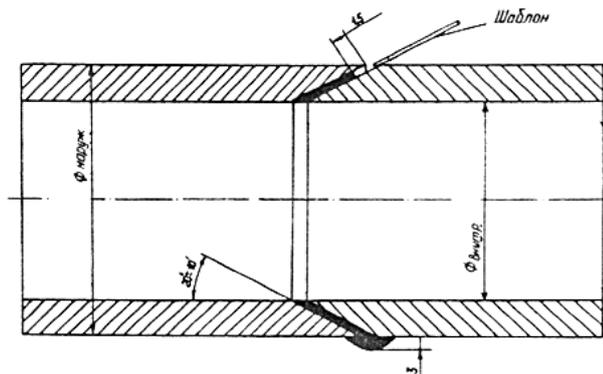


Рисунок 2.10 – Общий вид паяного соединения

Таблица 2.5 – Содержание химических элементов в припое П-87

Mn	Ni	Cu	Si	B	C	Fe	S	P
31,0-32,5	12,0-12,5	11,5-13,0	2,4-3,0	0,05-0,1	0,3-0,4	Остальное	0,02	0,02

Сборка стыков под пайку включает: стыковку и центрирование труб, внесение припоя в стык, установку нагревательного устройства на стык.

Стыковка труб осуществляется после установки устройства для сборки и пайки стыков на свободный конец трубопровода или отдельной плети.

Устройство для сборки и пайки стыков представляет собой наружный центратор, обеспечивающий возможность стыковки, центрирования, перемещения и прижатия присоединяемой трубы к концу трубопровода.

Конец стыкуемой трубы заводится трубоукладчиком в устройство, прижимается к опорным призмам зажимным механизмом устройства и подается до совмещения со смежной разделкой конца трубопровода.

Процесс центрирования трубы заключается в перемещении свободного конца относительно стыкованного до полного устранения зазора между паяемыми поверхностями или установления между ними видимого равномерного зазора без нарушения стыкованного состояния труб.

Допускаемая неравномерность зазора по периметру труб не должна превышать 0,3 мм.

Центрирование труб не производится при одновременной обработке концов труб в устройстве для сборки и пайки стыков труб или при использовании самоцентрирующих зажимов.

В стык вносится закладное кольцо припоя, на собранный стык наносится защитное покрытие, устанавливается индуктор и спрейер для принудительного охлаждения стыка, смонтированные на устройстве. Зазор между индуктором и трубой должен быть равномерным по периметру стыка. Видимая кромка стыка должна располагаться между нитками индуктора.

На стыке создается давление сжатия, равное 1 - 2 кгс/см<sup>2</sup>.

Процесс пайки собранного стыка включает индукционный нагрев его до температуры пайки (+1200°C), выдержку - при температуре пайки и охлаждение стыка - до температуры 400-500°C.

Перед включением электрической системы нагрева производится запуск системы охлаждения и проверяется нормальная циркуляция охлаждающей жидкости в системе.

Включается индукционная установка и производится пайка.

Контроль за достижением температуры пайки производится визуально по появлению на поверхности стыка расплава припоя, либо автоматическим способом (дилатометрическим, фотопирометром), обеспечивавшим определение момента расплавления припоя в стыке.

По достижении температуры пайки производится ее выдержка в течение 20 с для выравнивания температуры по периметру стыка. На период выдержки мощность нагрева снижается на 1/4 от установленной.

После достижения в стыке при охлаждении температуры, равной 400...500°C (когда прекращается свечение металла), производится снятие центрирующего устройства со стыка и перемещение его к очередному стыку.

## **Заключение по второму разделу**

В выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение эффективности соединения труб при строительстве промышленных трубопроводов за счёт применения перспективных способов сварки и пайки.

В ходе выполнения раздела исполнительского блока были решены следующие задачи:

1) Обоснованный выбор способа соединений при строительстве промышленных трубопроводов; 2) Составление альтернативных технологий соединения при строительстве промышленных трубопроводов.

В качестве альтернативных технологий получения соединений при строительстве промышленных трубопроводов предложены механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения и индукционная пайка.

Факт достижения поставленной цели может быть определён и доказан после выполнения оценочных разделов выпускной квалификационной работы.

Первый оценочный раздел посвящён обеспечению безопасности рабочего персонала и природной среды при выполнении операций технологического процесса строительства промышленного трубопровода. В этом разделе будет выполнено: анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Второй оценочный раздел будет посвящён оценке эффективности внедрения предлагаемых технологий в производство. В нём будут выполнены работы: оценка экономической эффективности предлагаемых технических решений, при которой следует рассмотреть две альтернативные технологии соединения труб в промышленном трубопроводе и выбрать наиболее эффективную технологию.

### 3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

#### 3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологи выполнения стыков промышленных трубопроводов. В соответствии с базовой технологией сварка стыков выполняется с применением ручной дуговой сварки штучными электродами.

На основании проведённого анализа возможных способов сварки принято решение о замене ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку в защитном газе и пайку.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1	2	3	4
1. Подготовительная операция	Слесарь-сборщик	Толщиномер ультразвуковой, орбитальная газовая резка, ультразвуковой дефектоскоп, Разжимное приспособление, газовая горелка, источник ВД-306Д	Круг абразивный, кислород, ацетилен, ветошь, рукавицы
2. Сборка	Электросварщик	Центратор, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки	Углекислый газ, сварочная проволока

### Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
3. Предварительный подогрев	Электросварщик	Установка индукционного нагрева, контактные термопары	Термокарандаш
4. Осуществление сварки на трубопроводе	Электросварщик	Сборочное приспособление, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки	Углекислый газ, сварочная проволока
5. Проведение зачистки сварного шва	Электросварщик	машинка шлифовальная, зубило, молоток	Абразивный круг
6. Проведение контроля качества сварных стыков труб	Дефектоскопист	Ультразвуковой дефектоскоп	-

### 3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющей угрозу негативного фактора
1	2	3
1. Подготовительная операция	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений</li> </ul>	Толщиномер ультразвуковой, орбитальная газовая резка, ультразвуковой дефектоскоп, Разжимное приспособление, газовая горелка, источник ВД-306Д

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
2. Сборка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений</li> </ul>	Сборочное приспособление, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки
3. Осуществление сварки на трубопроводе	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений</li> </ul>	Сборочное приспособление, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки
4. Проведение зачистки сварного шва	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> </ul>	Машинка шлифовальная, зубило, молоток

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
5. Проведение контроля качества сварных стыков труб	- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Ультразвуковой дефектоскоп

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1	2	3
1. Наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
2. Перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Ограждения перемещающихся деталей и узлов и их предохранительная окраска, предупреждающие плакаты.	-
3. Нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых труб до высоких температур	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
4. Опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-

### Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
5. Ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
6. Инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварочных работ	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
7. Ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения	-

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производственного участка призваны обеспечить защиту от пожара работников предприятия, а также имущество предприятия. Согласно классификации пожаров по виду горючего материала и учетом производственной ситуации следует классифицировать возможный пожар как пожар класса Е: горение веществ и материалов под напряжением электрического тока. В таблице 3.4 выполним анализ основных и вторичных опасных факторов возможного пожара.

Участок, на котором планируются к внедрению разработанные технические предложения, с учетом класса возможного пожара (Е) необходимо укомплектовать техническими средствами, обеспечивающими защиту от возможного пожара работников и имущества предприятия. Перечень средств для комплектования производственного участка отразим в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сборка и сварка	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	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.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 3.5 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Средства для тушения возгораний в начальной стадии	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем пожаротушения	Системы пожарной автоматика для проведения тушения возгорания	Пожарное оборудование на участке сварки	Средства индивидуальной защиты и спасения производственного персонала	Установленный на участке инструмент для ликвидации возгораний	Системы связи и оповещения на участке сварки
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	Специализированные автомобили (вызываются)	Нет	Нет	-	План эвакуации,	Ведро, лопата, багор, топор	Тревожная кнопка

Таблица 3.6 – Разработанные организационные мероприятия для исключения возгораний на участке сварки

Перечень операций, осуществляемых в рамках разработанного технологического процесса	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция сварки стыка, контрольные операции.	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

### 3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 3.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Сварка трубопровода	Подготовительная операция, сборочная операция, операция предварительного подогрева, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 3.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при горении дуги.
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме центратора и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

### 3.6 Заключение по разделу

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

## 4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений

### 4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологии выполнения стыковых соединений на промышленных трубопроводах. В соответствии с базовой технологией сварка стыка трубопровода выполняется с применением ручной дуговой сварки штучными электродами.

На основании проведённого анализа возможных способов сварки принято решение о замене ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку в защитном газе и на индукционную пайку. За счёт замены способа соединения труб предполагается получить снижение трудоемкости сварки и повышение качества сварных и паянных соединений.

Таблица 4.1 – Исходные данные для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	1	1
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	$P_p$		IV	IV
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	150	150

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	Квн	-	1,1	1,1
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	На	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	На.пл.	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м <sup>2</sup>	20	20
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	Цпл	Р/м <sup>2</sup>	30000	30000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт -з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	80000	250000 / 400000
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	8	10
Принятое значение стоимость электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,85
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

## 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Объём фонда времени, в течение которого происходит работа сварочного оборудования, задействованного в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, может быть определён с использованием формулы:

$$F_H = (D_p \cdot T_{cm} - D_n \cdot T_n) \cdot K_{cm}, \quad (4.1)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность рабочей смены в часах;

$D_p$  – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{п}$  – планируемое количество предпраздничных дней в календарном году;

$T_{п}$  – планируемое сокращение длительности рабочей смены в часах в предпраздничный день;

$K_{см}$  – количество рабочих смен.

После подстановки в формулу (4.1) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Расчёт эффективного фонда времени работы сварочного оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам может быть определён с использованием формулы:

$$F_э = F_H \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где  $B$  – процент планируемых потерь рабочего времени.

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_э = 2209 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2054 \text{ ч.}$$

### **4.3 Расчет штучного времени**

Оценку штучного времени для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним с использованием формулы:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{маш}} + t_{\text{всп}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{п-з}}, \quad (4.3)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{маш}}$  – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{всп}}$  – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{всп}} = 10\%$  от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{обсл}}$  – время обслуживания – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на обслуживание, текущий и мелкий ремонт технологического оборудования задействованного в выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{обсл}} = 5\%$  от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{отл}}$  – время личного отдыха – объём времени в часах, которое будет затрачено на работником на обеспечение личных потребностей в отдыхе при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{отл}} = 5\%$  от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{п-з}}$  – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{оп-з}} = 1\%$  от  $t_{\text{маш}}$ .

После подстановки в формулу (4.3) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

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

$$t_{шт.проектн.2} = 1,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,9 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы проведения сварочных работ согласно рассматриваемого технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним по формуле:

$$П_{Г} = \frac{F_{\text{Э}}}{t_{шт}}, \quad (4.4)$$

где  $F_{\text{Э}}$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$  – штучное время в часах, которое затрачивает работник на один стык трубопровода по базовому и проектному вариантам технологии;

После подстановки в формулу (4.4) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

$$П_{Г.проектн.1} = 2054/3 = 668 \text{ стыков за год};$$

$$П_{Г.проектн.2} = 2054/1,9 = 1081 \text{ стыков за год}$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы  $П_{Г}=200$  стыков в год.

Требуемое в этом случае количество сварочного оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$n_{РАСЧ} = \frac{t_{шт} \cdot П_{Г}}{F_{\text{Э}} \cdot K_{ВН}}, \quad (4.5)$$

где  $\Pi_{г}$  – годовая программа – принятое ранее количество стыков трубопровода, которые необходимо сварить за один календарный год при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$  – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_{э}$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$K_{вн}$  – принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

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

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{1,9 \cdot 200}{2054 \cdot 1,03} = 0,18$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического

оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

$$K_z = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где  $n_{\text{расч}}$  – полученное согласно (4.5) количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$n_{\text{пр}}$  – принятое количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$K_{зб} = 0,76/1 = 0,76,$$

$$K_{зп1} = 0,28/1 = 0,28:$$

$$K_{зп2} = 0,18/1 = 0,18.$$

#### **4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии сварки**

При сварке стыковых соединений на магистральных трубопроводах используются сварочные материалы. Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки, для которой сварочным материалом являются штучные электроды. Проектная технология сварки предусматривает применение механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитном газе, для которой сварочными материалами будут проволока и углекислый газ. Вторая проектная технология

предусматривает затраты припоя. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{Т-З}, \quad (4.7)$$

где  $C_M$  – цена, определённая для сварочного материала по каталогам предприятий, которые представлены в сети ИНТЕРНЕТ;

$K_{Т-З}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы.

При расчёте затрат на материалы следует учесть что базовый вариант технологии сварки с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью их исправления. В проектном варианте технологии предложено использовать механизированную сварку проволокой сплошного сечения в углекислом газе, при которой дополнительно осуществляется с импульсное управление сварочной дугой. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов. Таким образом, массу наплавленного металла при сварке базовой технологии следует взять больше, чем массу наплавленного металла при сварке по проектной технологии. После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

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

$$M_{\text{проектн.2}} = 1500 \text{ руб.}$$

Объём фонда заработной платы (ФЗП) определяется суммой основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$ .

Объём  $Z_{\text{осн}}$  основной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где  $C_{\text{ч}}$  – утверждённая часовая тарифная ставка работника;

$K_{\text{д}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате.

После подстановки в формулу (4.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

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

$$Z_{\text{осн.проектн.2}} = 1,9 \cdot 150 \cdot 1,88 = 536 \text{ руб.}$$

Объём  $Z_{\text{доп}}$  дополнительной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где  $K_{\text{доп}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы

После подстановки в формулу (4.9) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

$$Z_{\text{доп.проектн.1}} = 846 \cdot 12/100 = 102 \text{ рублей};$$

$$Z_{\text{доп.проектн.2}} = 536 \cdot 12/100 = 64 \text{ рублей};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{базов.}} = 2256 + 271 = 2527 \text{ рублей};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.1}} = 846 + 102 = 948 \text{ рублей};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.2}} = 536 + 64 = 600 \text{ рублей.}$$

Объём  $O_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды определим расчётным путём с использованием формулы:

$$O_{сн} = \Phi ЗП \cdot K_{сн} / 100, \quad (4.10)$$

где  $K_{сн}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды.

После подстановки в формулу (4.10) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

$$O_{сб.проектн.1} = 948 \cdot 34 / 100 = 322 \text{ руб.};$$

$$O_{сб.проектн.2} = 600 \cdot 34 / 100 = 204 \text{ руб.}$$

Объём  $Z_{об}$  финансовых затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э}, \quad (4.11)$$

где  $A_{об}$  – финансовые потери от амортизации технологического оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$P_{э-э}$  – финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

Финансовые потери на амортизацию оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot N_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100} \quad (2.12)$$

где  $Ц_{об}$  – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, определённая по каталогам предприятий в сети ИНТЕРНЕТ;

$N_a$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

$t_{\text{МАШ}}$  – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_3$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.12) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{об.б} = \frac{80000 \cdot 21,5 \cdot 8}{2054 \cdot 100} = 67 \text{ рублей}$$

$$A_{об.пp1} = \frac{250000 \cdot 21,5 \cdot 3}{2054 \cdot 100} = 79 \text{ рублей}$$

$$A_{об.пp2} = \frac{400000 \cdot 21,5 \cdot 1,9}{2054 \cdot 100} = 80 \text{ рублей}$$

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам определим расчётным путём с использованием формулы:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{э-э}}{КПД} \quad (4.13)$$

где  $M_{уст}$  – установленная мощность оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$C_{э-э}$  – принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

КПД – принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса

После подстановки в формулу (4.13) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{\text{э-эб}} = \frac{8 \cdot 8 \cdot 3,02}{0,7} = 276 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{э-эпр1}} = \frac{10 \cdot 3 \cdot 3,02}{0,85} = 107 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{э-эпр}} = \frac{20 \cdot 1,9 \cdot 3,02}{0,85} = 135$$

$$Зоб_{\text{баз.}} = 67 + 276 = 343 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{проектн.1}} = 79 + 107 = 186 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{проектн.2}} = 80 + 135 = 215 \text{ рублей}$$

Значение  $C_{\text{тех}}$  показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} \quad (4.14)$$

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

$$C_{\text{ТЕХПроектн.1}} = 3203 + 948 + 322 + 186 = 4659 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.2}} = 1500 + 600 + 204 + 215 = 2519 \text{ руб.}$$

Значение  $C_{\text{цех}}$  показателя цеховой себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (4.15)$$

где  $K_{\text{ЦЕХ}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.15) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

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

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.2}} = 2519 + 1,5 \cdot 536 = 2519 + 804 = 3323 \text{ руб.}$$

Значение  $C_{\text{Зав}}$  показателя заводской себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.16)$$

где  $K_{\text{ЗАВ}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.16) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

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

$$C_{\text{ЗАВПроектн.2}} = 3323 + 1,15 \cdot 536 = 3323 + 616 = 3939 \text{ руб.}$$

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу (табл. 4.2)

Таблица 4.2 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб		
		Базовый	Проектн.1	Проектн.2
1. Затраты на материалы	М	2100	3203	1500
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	2527	948	600
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	859	322	204
4. Объём финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	343	186	215
5. Величина технологической себестоимости	Стех	5829	4659	2519
6. Объём цеховых расходов	Рцех	3384	1269	804
7. Величина цеховой себестоимости	Сцех	9213	5928	3323
8. Объём заводских расходов	Рзав	2594	972	616
9. Величина заводской себестоимости	С <sub>ЗАВ</sub>	11807	6900	3939

#### 4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам

Значение  $K_{\text{общ}}$  капитальных затрат, которые потребуются для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{\text{З.Б.}}, \quad (4.17)$$

где  $K_{\text{З}}$  – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$Ц_{\text{ОБ.Б}}$  –остаточная стоимость в рублях технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство, который определяется по сроку службы этого оборудования;

$n$  – ранее полученное количество единиц технологического оборудования, для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам.

Величину  $\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}}$  остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}} = \text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} - (\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} \cdot \text{Т}_{\text{СЛ}} \cdot \text{Н}_{\text{А}} / 100), \quad (4.18)$$

где  $\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}}$  – рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

$\text{Т}_{\text{СЛ}}$  – количество лет, в течение которых рассматриваемое оборудование было использовано в технологическом процессе по базовому варианту;

$\text{Н}_{\text{А}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

После подстановки в формулу (4.17) и (4.18) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

$$\text{К}_{\text{ОБЩ.Баз.}} = 1 \cdot 28400 \cdot 0,76 = 21584 \text{ рублей}$$

Величину  $\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}}$  общих капитальных затрат для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}} = \text{К}_{\text{ОБПР}} + \text{К}_{\text{ПЛПР}} + \text{К}_{\text{СОПР}}, \quad (4.19)$$

где  $\text{К}_{\text{ОБ.ПР}}$  – расчётный объём капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$\text{К}_{\text{ПЛ.ПР}}$  – расчётный объём капитальных вложений в производственные площади, задействованные для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{\text{СОП.ПР}}$  – расчётный объём сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии.

Объём  $K_{\text{ОБ.ПР}}$  капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = C_{\text{ОБПР}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{ЗБ}}. \quad (4.20)$$

После подстановки в формулу (2.20) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = 400000 \cdot 1,05 \cdot 0,18 = 75600 \text{ руб.}$$

Объём  $K_{\text{СОП}}$  сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{СОП}} = K_{\text{ДЕМ}} + K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.21)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{\text{МОНТ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

Затраты  $K_{\text{ДЕМ}}$  на демонтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДЕМ}} = C_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.22)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его демонтаж.

После подстановки в формулу (4.22) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

Затраты  $K_{\text{МОН}}$  на монтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по проектному варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{МОНТ}} = \Pi_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.23)$$

где  $K_{\text{МОНТ}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж.

После подстановки в формулу (4.23) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{МОНТ1}} = 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{МОНТ2}} = 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.21) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{СОП1}} = 4000 + 12500 = 16500 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{СОП2}} = 4000 + 20000 = 24000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.19) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР1}} = 73500 + 16500 = 90000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ.ПР2}} = 75600 + 24000 = 99600 \text{ руб.}$$

Размер  $K_{\text{ДОП}}$  дополнительных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩПР}} - K_{\text{ОБЩБ}}. \quad (4.24)$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДОП1}} = 90000 - 73500 = 16500 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ДОП2}} = 99600 - 73500 = 26100 \text{ руб.}$$

Размер  $K_{\text{уд}}$  удельных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{\Pi_{\Gamma}}, \quad (4.25)$$

где  $\Pi_{\Gamma}$  – принятое значение годовой программы.

После подстановки в формулу (4.25) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

$$K_{\text{удПроектн.1}} = 90000/200 = 450 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{удПроектн.2}} = 99600/200 = 498 \text{ руб./ед.}$$

#### **4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений**

На основании проведённых расчётов следует сделать вывод, что наибольшей эффективностью обладает индукционная пайка стыков трубопровода, для которой выполним оценку экономических показателей.

Снижение  $\Delta t$  трудоемкости при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% . \quad (4.26)$$

После подстановки в формулу (4.26) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{8 - 1,9}{8} \cdot 100\% = 76\%$$

Повышение  $\Pi_T$  производительности труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} . \quad (4.27)$$

После подстановки в формулу (4.27) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 76}{100 - 76} = 316\%$$

Снижение  $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$  технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

После подстановки в формулу (4.28) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta C_{ТЕХ} = \frac{5829 - 2519}{5829} \cdot 100\% = 57\%$$

Условно-годовую экономию  $Пр_{ож}$  (ожидаемую прибыль) при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Пр_{ож.} = Э_{у.г.} = \left( C_{зав}^б - C_{зав}^{пр} \right) \cdot П_{Г} \cdot \quad (4.29)$$

После подстановки в формулу (4.29) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$Э_{у.г.} = (11807 - 3939) \cdot 200 = 1573600 \text{ руб.}$$

Срок  $T_{ок}$  окупаемости дополнительных капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{Э_{уг}} \cdot \quad (4.30)$$

После подстановки в формулу (4.30) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{ок} = \frac{99600}{1573600} = 0,1$$

Годовой экономический эффект  $Э_{г}$  в сфере при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Э_{г} = Э_{уг} - E_{н} \cdot K_{доп} \quad (4.31)$$

После подстановки в формулу (4.31) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Эг} = 1573600 - 0,33 \cdot 99600 = 1540732 \text{ руб.}$$

### **Заключение по экономическому разделу**

Базовый вариант технологии сварки соединения трубопровода с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью переварки сварного соединения. В проектных вариантах технологии предложено использовать механизированную сварку проволокой сплошного сечения в углекислом газе и индукционную пайку. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений. Принято решение использовать индукционную пайку, при этом: уменьшается трудоемкость на 76 %, увеличивается производительность труда на 316 %, уменьшается технологическая себестоимость на 57 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 1,6 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,5 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 0,1 года.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности предложенных решений, которые должны быть внедрены в производство.

## Заключение

Поставленная в выпускной квалификационной работе цель – повышение эффективности соединения труб при строительстве промышленных трубопроводов за счёт применения перспективных способов сварки и пайки.

Базовый вариант технологии сварки трубопровода с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью переварки сварного соединения.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы решены следующие задачи: 1) Обоснованный выбор способа соединений при строительстве промышленных трубопроводов; 2) Составление альтернативных технологий соединения при строительстве промышленных трубопроводов.

При анализе возможных способов сварки были рассмотрены: ручная дуговая сварка штучными электродами, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, механизированная сварка порошковой проволокой, индукционная пайка.

В проектном варианте технологии предложено использовать механизированную сварку проволокой сплошного сечения в углекислом газе и индукционную пайку. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать соединения без дефектов.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

По результатам экономических расчётов принято решение использовать индукционную пайку. Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,5 млн. рублей.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута. Результаты выпускной квалификационной работы могут быть внедрены в производство при выполнении соединений на промышленных трубопроводах.

## Список используемой литературы

1. Варламов, Д.П. Повышение надежности магистральных газопроводов при использовании многократной внутритрубной дефектоскопии / Д.П. Варламов, В.Н. Дедешко, В.А. Канайкин, О.И. Стеклов // Автоматическая сварка. – 2012. – № 3. – С. 28–34.
2. Алешин, Н.П. Контроль качества сварочных работ / Н.П. Алёшин, В.Г Щербинский – М.: Высшая школа, 1986. – 207 с.
3. Волченко, В.Н. Контроль качества сварных конструкций / В.Н. Волченко. – М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.
4. Потапьевский, А.Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.
5. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах / А.Г.Потальевский. – Издание 2-е. недоработанное. – К.: Экотехнолопя, 2007. – 192 с.
6. Реальные возможности безредукторных механизмов импульсной подачи электродной проволоки / В.А. Лебедев, С.П. Ковешников, Б.Г. Светников, С.И. Полосков // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерная техника и технология. - 1989, Вып. 4. - С. 46-48.
7. Гулаков, С.В. К вопросу построения модели сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом / С.В. Гулаков, Б.И. Носовский // Автоматическая сварка. – 2002. – № 9. – С. 24–28.
8. Романюк, В.С. Высокопроизводительная сварка неповоротных стыков труб порошковой проволокой с принудительным формированием шва / В.С. Романюк, В.Д. Ковалёв, С.А. Резник, А.М. Семененко // Сварщик. – 2001. – № 2. – С. 32–33.

9. Шлепаков, В.Н. Влияние состава сердечника порошковой проволоки и защитного газа на стабильность процесса дуговой сварки / В.Н. Шлепаков, А.С. Котельчук, С.М. Науменко, А.В. Билинец // Автоматическая сварка. – 2005. – № 6. – С. 18–22.

10. Варуха, Е.Н. Расчёт глубины проплавления изделия при сварке в углекислом газе / Е.Н. Варуха, А.А. Морозов // Автоматическая сварка. – 2002. – № 8. – С. 20–23.

11. Походня, И.К. Низководородные электроды для судоремонта, ремонта объектов металлургического комплекса и трубопроводного транспорта / И.К. Походня, И.Р. Явдошин [и др.] // Автоматическая сварка. – 2007. – № 5. – С. 54–58.

12. Ланкин, Ю.Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в  $\text{CO}_2$  с периодическими короткими замыканиями дугового промежутка / Ю.Н. Ланкин // Автоматическая сварка. – 2007. – № 1. – С. 3–10.

13. Лебедев, В.А. Зависимость между скоростями импульсной подачи проволоки и ее плавления при сварке с короткими замыканиями / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2007. – № 4. – С. 19–22.

14. Федько, В.Т. Импульсная подача сварочной проволоки с управляемым переносом электродного металла / В.Т. Федько, А.В. Крюков, С.А. Солодский // Наука – Образование – производство: материалы научно технической конференции. – Нижний Тагил, 2004. – Т.2. – С. 100–103.

15. Лебедев, В.А. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки / В.А. Лебедев, И.В. Лендел, А.В. Яровицын [и др.] // Автоматическая сварка. – 2006. – № 3. – С. 25–30.

16. Бут, В.С. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации / В.С. Бут, О.И. Олейник // Автоматическая сварка. – 2014. – № 5. – С. 42–50.

17. Лашко С.В., Лашко Н.Ф. Пайка металлов. - М.: Машиностроение, 1988. - 376 с.
18. Справочник по пайке / Под ред. И.Е.Петрунина. - М.: Машиностроение, 2003. - 480 с.
19. Патон Б.Е., Россошинский А.А. Некоторые вопросы дальнейшего развития технологии пайки // Современные методы пайки. - Киев: ИЭС им. Е.О.Патона, 1982. - С. 3-12.
20. Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Машиностроение, 1990. – 372с.
21. Брауде, М. З. Охрана труда при сварке в машиностроении / М. З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.
22. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.