

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»  
(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей  
в машиностроении»  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Ремонт магистральных трубопроводов при помощи муфт

Студент

М.В. Хавкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.И. Плахотный

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент О.М. Сярова

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Значительная площадь территории Российской Федерации делает необходимым применение разветвлённой сети трубопроводов, длина которой значительно превышает длину трубопроводов остальных стран – поставщиков энергоресурсов. При этом на стабильность работы трубопроводного транспорта оказывает влияние тот факт, что значительная часть трубопроводов имеет существенный износ, так как её строительство выполнено во второй половине прошлого века.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности ремонта магистральных трубопроводов с применением стальных муфт.

Проведён предварительный анализ возможных способов сварки при ремонтной сварке магистральных трубопроводов. По результатам экспертной оценки для построения проектной технологии предложено использовать сварку в защитных газах. Были назначены оптимальные параметры режима сварки. Предложено вести с применением импульсного управления по технологии STT. Составлена карта технологического процесса сборки и сварки.

При выполнении экологического раздела выполнен анализ предлагаемых технологических решений на предмет безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности.

При выполнении экономического раздела проведены экономические расчёты по затратам на осуществление базовой и проектной технологий. Экономический эффект составил 1,482 млн. рублей в год. Был сделан вывод об экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние технологии ремонта магистральных трубопроводов с применением стальных муфт. . . . .	7
1.1 Информация о рассматриваемом трубопроводе. . . . .	7
1.2 Сведения о материале трубопровода. . . . .	10
1.3 Технология ремонта трубопровода с применением стальных муфт. . . . .	12
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	21
2 Проектная технология ремонтной сварки магистрального трубопровода. . . . .	23
2.1 Обоснование выбора способа сварки. . . . .	23
2.2 Повышение эффективности выбранного способа сварки. . . . .	27
2.3 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки трубопровода. . . . .	30
2.4 Сварка корневого слоя шва. . . . .	29
2.5 Сварка заполняющего и облицовочного слоев шва. . . . .	32
3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы. . . . .	34
3.1 Технологическая характеристика объекта . . . . .	34
3.2 Идентификация профессиональных рисков . . . . .	36
3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов. . . . .	38
3.4 Пожарная безопасность на производстве. . . . .	40
3.5 Экологическая безопасность проектной технологии. . . . .	42
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений. . . . .	45
4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности. . . . .	45

4.2 Расчёт объёмов фонда времени. . . . .	47
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	48
4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии. . . . .	50
4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии. . . . .	54
4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии. . . . .	56
Заключение . . . . .	60
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	62

## Введение

В настоящее время трубопроводный транспорт является одним из самых ответственных сегментов российской экономики, от работоспособности которого зависит стабильность доходов и благосостояние многих россиян. Значительная площадь территории Российской Федерации делает необходимым применение разветвлённой сети трубопроводов, длина которой значительно превышает длину трубопроводов остальных стран – поставщиков энергоресурсов. При этом на стабильность работы трубопроводного транспорта оказывает влияние тот факт, что значительная часть трубопроводов имеет существенный износ, так как её строительство выполнено во второй половине прошлого века.

Как показывает статистика по авариям на магистральных трубопроводах, около 30 % всех аварийных ситуаций происходит на участках трубопровода, которые монтировались в 90-е года прошлого века [2], [3]. Причинами аварий на трубопроводах стали значительное количество дефектов, возникающих вследствие огрех исполнителей и некачественно подготовленной проектной документации.

Циклические нагрузки, которым подвергается трубопровода в течение своей работы, становятся причиной развития различных повреждений стенки трубы. В качестве очагов таких повреждений могут выступать дефекты, допущенные при строительстве трубопровода. Также значительное число повреждений трубопровода происходит вследствие коррозионных повреждений.

Для того чтобы обеспечить работоспособность и безопасность магистрального трубопровода в течение всего срока его эксплуатации необходимо выполнять диагностику его состояния и своевременный ремонт. Как правило, ремонтные работы проводятся на достаточно протяжённом участке, который имеет длину порядка 30 км. При этом выполняется переукладка трубопровода и его переизоляция [3]. При выполнении такого

капитального ремонта трубопровода затрачиваются значительные материальные и трудовые ресурсы. В значительном количестве случаев становится необходимым проведение срочного ремонта при устранении отдельных дефектов, которые являются критическими и не могут ожидать капитального ремонта. В таком случае следует провести ремонт трубопровода с применением временных муфт [5], [12], [13], [14], [21].

При ремонте магистральных трубопроводов нашли применение большое число различных конструкций ремонтных муфт. При выборе типа ремонтной муфты следует руководствоваться исправляемым дефектом, особенностями эксплуатации ремонтируемого трубопровода и стоимостью ремонтной муфты [26]. В случае применения стальных ремонтных муфт происходит не только устранение дефекта трубопровода, но и существенное снижение нагрузки на участок трубопровода с дефектом [26].

Ремонт магистральных трубопроводов с применением стальных муфт практикуется уже несколько десятков лет. Однако технология такого ремонта продолжает совершенствоваться, так как не устранены проблемы, возникающие в ходе такого ремонта. Первой такой проблемой является проблема зазоров в ремонтной конструкции при установке на трубу. Второй проблемой является влияние особенностей формы ремонтной конструкции на дальнейшую эксплуатацию трубопровода в условиях циклического нагружения. Третьей проблемой является повышение производительности и качества ремонтных работ. Четвёртой проблемой является изменение свойств металла трубы на участке около дефекта [25].

Решение задачи повышения эффективности сварочных технологий при выполнении ремонта магистральных трубопроводов стальными муфтами является востребованным современной промышленностью.

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение эффективности ремонта магистральных трубопроводов с применением стальных муфт.

# **1 Современное состояние технологии ремонта магистральных трубопроводов с применением стальных муфт**

## **1.1 Информация о рассматриваемом трубопроводе**

В выпускной квалификационной работе рассматривается технология ремонта дефектов на магистральном трубопроводе, который проходит по юго-восточной части Западно-Сибирской низменности. На территории преобладает тайга, в которой растут в основном кедр, ель, лиственница и сосна. Диаметр трубопровода составляет 1220 мм, резервная нить трубопровода имеет диаметр 1020 мм. Транспортируемая среда – нефть с рабочим давлением 45 кгс/см<sup>2</sup>.

При диагностике состояния магистрального трубопровода были обнаружены множественные критические дефекты. Первым дефектом является потеря металла, которая представлена на рисунке 1-а. Вторым дефектом являются риски, которые представлены на рисунке 1-б. Третьим дефектом стали вмятины из-за внешних воздействий, эти дефекты представлены на рисунке 1-в. Четвёртым дефектом являются гофры, которые представлены на рисунке 1-г. Пятым дефектом являются дефекты сварного шва, пример которых представлен на рисунке 1-д.

Нормативная документация [12], [13], [14] предусматривает три метода ремонта магистральных трубопроводов:

- ремонт магистрального трубопровода переизоляцией,
- демонтаж участка трубопровода и замена его новыми трубами,
- выборочный ремонт отдельных участков трубопровода при устранении единичных дефектов.

Устранение единичных дефектов, которые носят критический характер, выполняется на локальных участках трубопровода с применением приварных стальных муфт. При этом становится возможной дальнейшая эксплуатация трубопровода вплоть до полной замены участка при капитальном ремонте.



*а) потери металла; б) риски; в) вмятины; г) гофры; д) изъяны сварных швов*

Рисунок 1 – Примеры критических дефектов магистрального трубопровода

На рисунке 2 представлена статистика по авариям на магистральных трубопроводах Российской Федерации за предыдущие года [19]. Как видно, прослеживается тенденция к уменьшению количества аварийных случаев, однако число аварий продолжает оставаться значительным. Крупная авария на трубопроводе приводит к серьёзным экологическим последствиям.



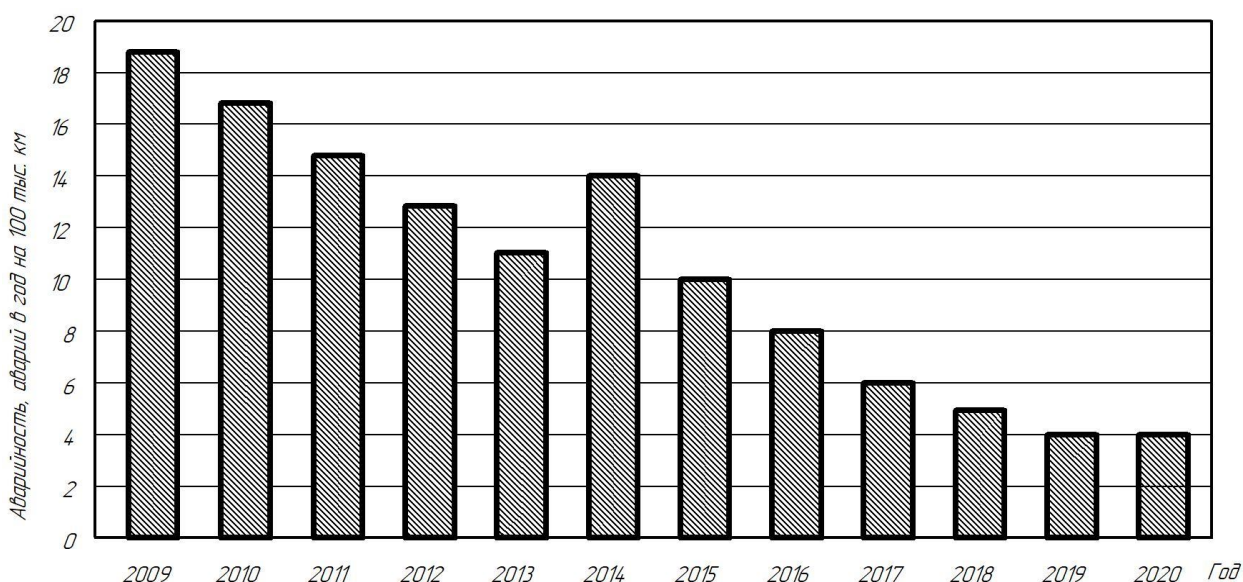


Рисунок 2 – Аварийность на магистральных трубопроводах России [19]

Статистика по авариям показывает, что значительная их часть в качестве причины имеет низкое качество выполнения работ при строительстве трубопровода [8], [19]. Классификация причин аварий на трубопроводах представлена на рисунке 3. Приблизительно 14 % отказов на магистральных трубопроводах происходит по причине брака на строительном-монтажных работах. На брак при изготовлении самой трубы приходится до 9 % случаев аварий. Значительная часть аварий происходит по причине коррозионного износа труб и достигает 50 % всех аварийных случаев.

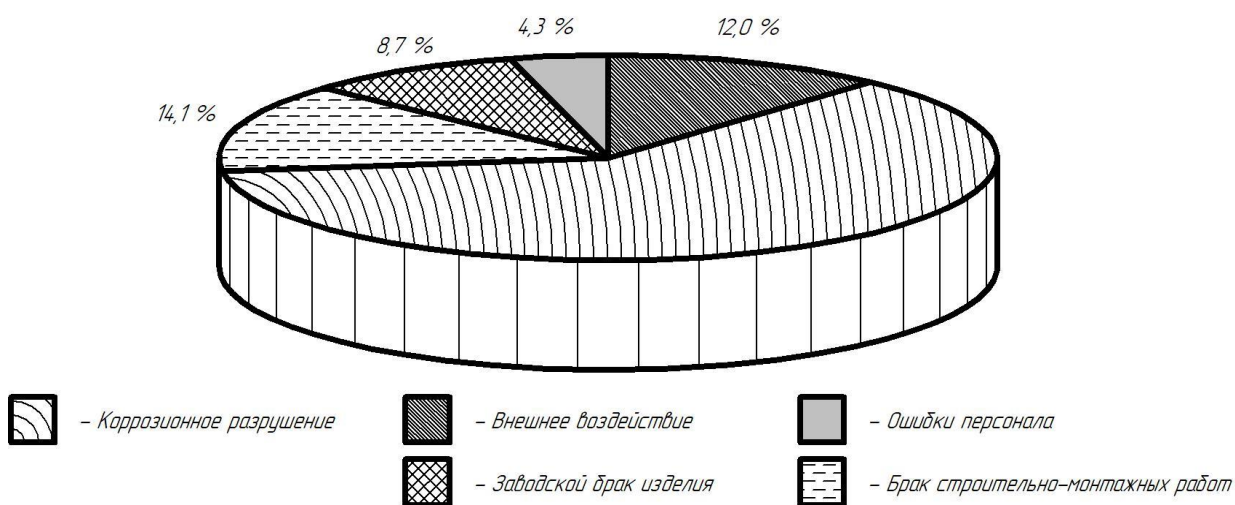


Рисунок 3 – Классификация причин аварий на магистральных нефтепроводах [8], [19]

На рисунке 4 представлена динамика обнаружения дефектов на магистральных трубопроводах в зависимости от длительности их эксплуатации [24], [27].

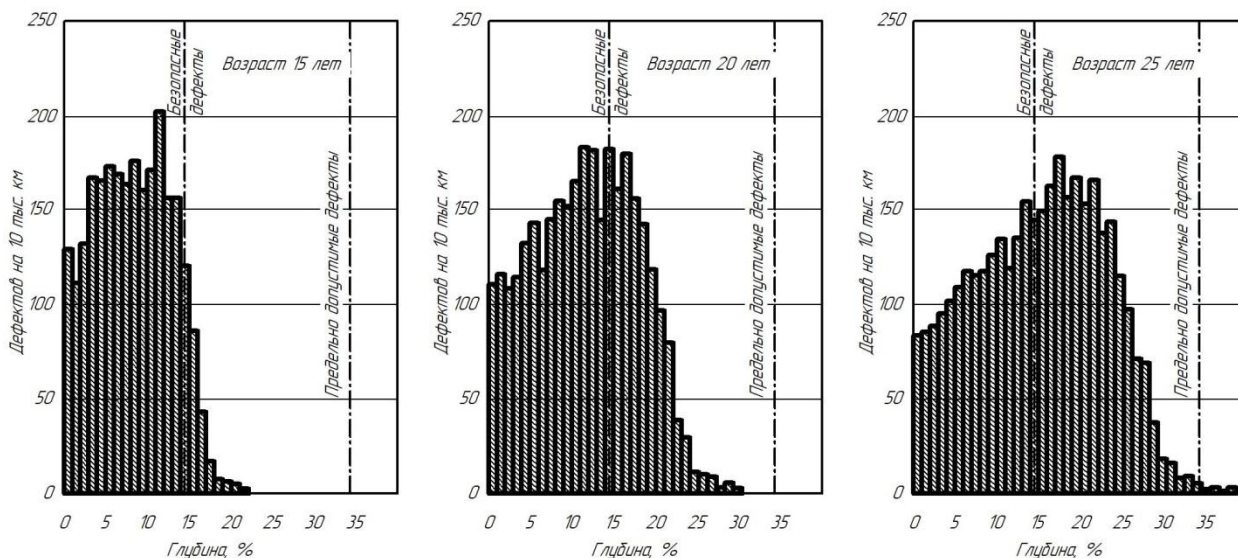


Рисунок 4 – Образование и развитие дефектов на длительно эксплуатируемых магистральных трубопроводах

Как видно из представленных на рисунке 4 диаграмм, длительная эксплуатация магистрального трубопровода приводит к накопительному эффекту в образовании дефектов, при этом количество критических дефектов увеличивается.

## 1.2 Сведения о материале трубопровода

Трубы, из которых выполнен рассматриваемый трубопровода, имеют класс прочности K52 и изготовлены из стали 17Г1С-У. Химический состав стали 17Г1С-У приведён в таблице 1. Сталь 17Г1С-У предназначена для изготовления металлических конструкций, которые работают при температурах от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+475\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Эта сталь нашла применение при строительстве паропроводов и трубопроводов горячей воды, которые работают при давлении до 2,2 МПа. Также сталь применяется для

изготовления труб, предназначенных для магистральных газопроводов и нефтепроводов.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 17Г1С [20]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,15 - 0,2	0,4 - 0,6	1,15 - 1,6	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,08

При длительной эксплуатации конструкций из стали 17Г1С, строительство которых выполнялось с применением дуговых способов сварки, в них наблюдается рост очагов механического разрушения [22], [23].

Опыт эксплуатации металлических конструкций из стали 17Г1С показал высокую опасность коррозионного растрескивания под действием напряжений [27]. Примеры растрескиваний показаны на рисунке 5.

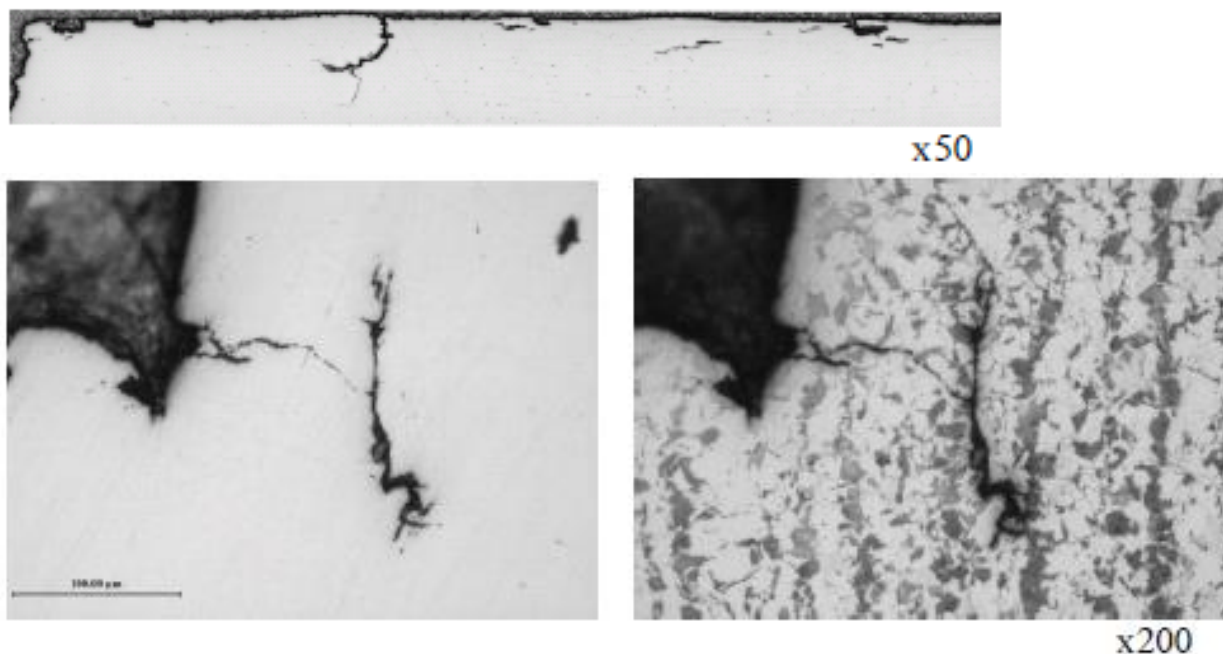


Рисунок 5 – Микрофотография трещин при испытаниях образцов

В работе [17] приведены результаты исследований по изучению циклической прочности сварных швов в конструкциях их стали 17Г1С, распределение твердости и характерные структуры зон сварного шва. В сварном шве образуется в основном перлитная структура, как показано на рисунке 6. Также наблюдается существенное улучшение структуры зоны термического влияния, что показано на рисунке 7.

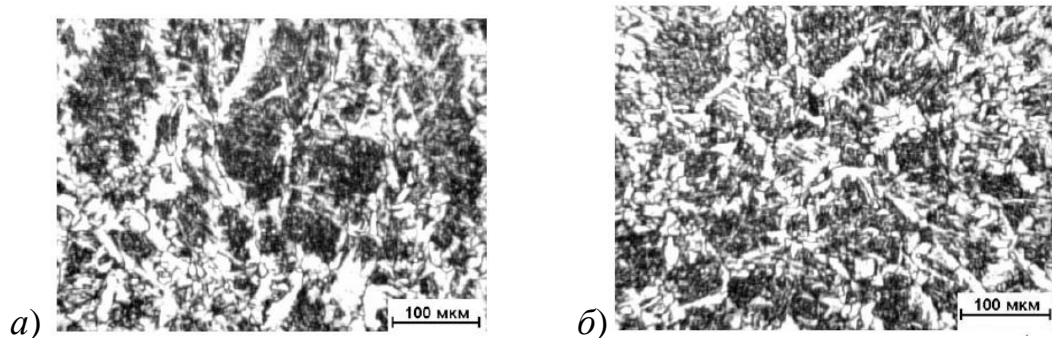


Рисунок 6 – Структура металла сварного шва стали 17Г1С-У при сварке стационарной дугой (а) и импульсной дугой (б)

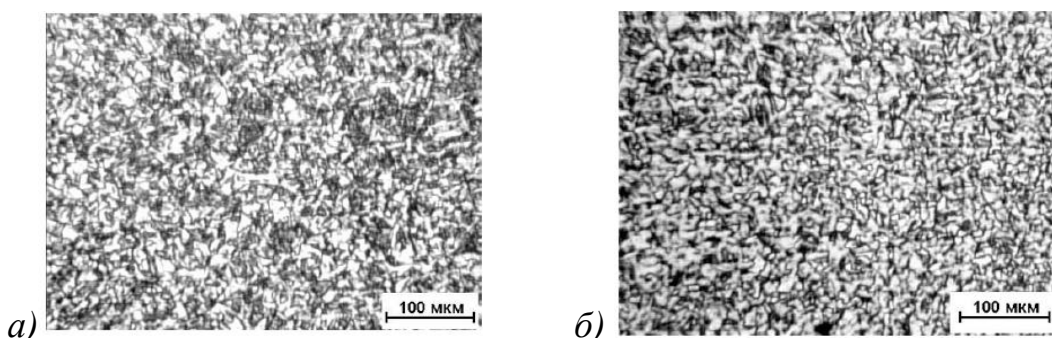


Рисунок 7 – Структура зоны термического влияния стали 17Г1С-У при сварке стационарной дугой (а) и импульсной дугой (б)

Особенности структуры металла сварного шва и зоны термического влияния зависят от характера горения дуги и переноса электродного металла. При сварке с применением импульсной дуги размер зёрен уменьшается в 1,3...1,8 раза, как показано на рисунках 6-а и 6-б [17], [23].

### **1.3 Технология ремонта трубопровода с применением стальных муфт**

В настоящее время технология ремонта магистральных трубопроводов с применением стальных муфт получила широкое распространение, и её особенности детально отработаны [15]. За счёт применения ремонтной муфты возможно продолжение эксплуатации участка трубопровода с дефектом на 30 и более лет. Классификация конструкций, применяемых при ремонте трубопроводов, представлена на рисунке 8.

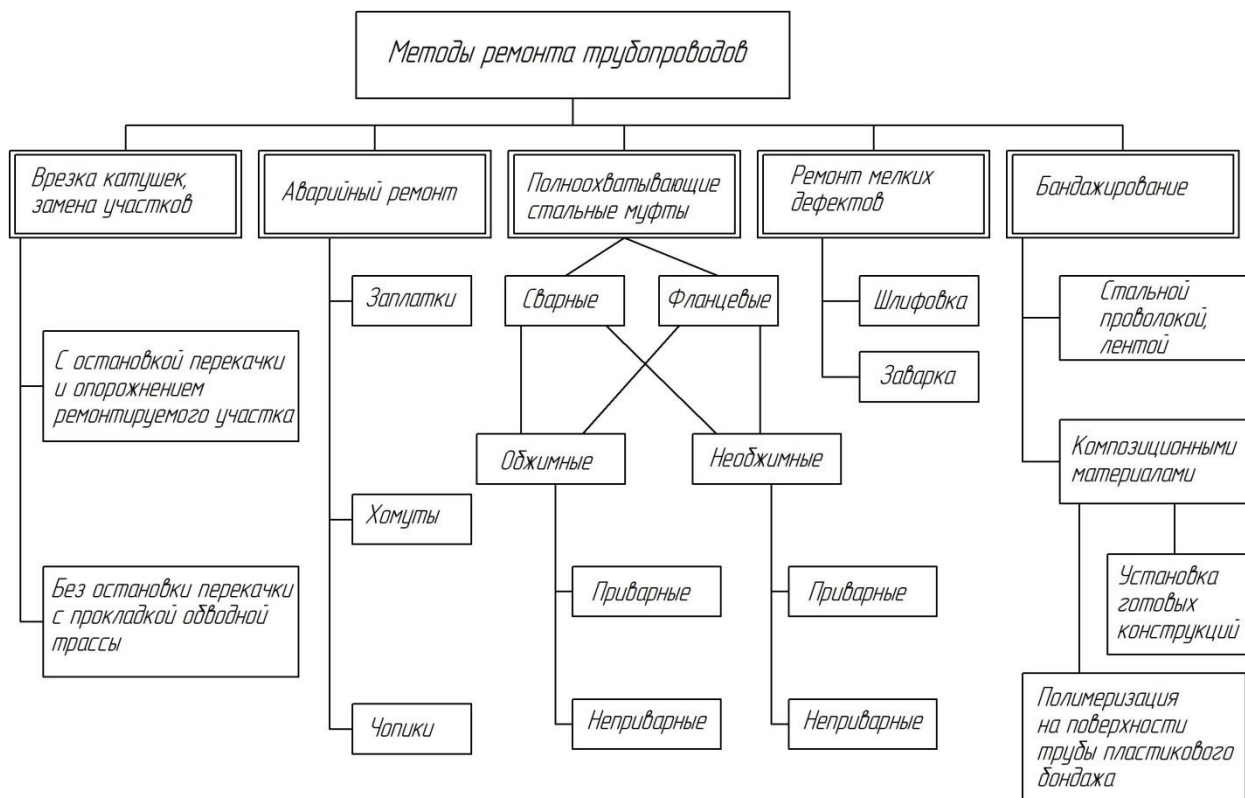


Рисунок 8 – Классификация ремонтных конструкций при ремонте магистральных трубопроводов

При проведении локального ремонта линейной части магистрального трубопровода руководствуются нормативными документами: РД 23.040.00-КТН-090-07 [13] и РД-75.180.00-КТН-193-08 [15].

Значительное распространение получила композитная муфта конструкции П1, представленная на рисунке 9.



Рисунок 9 – Ремонтная муфта П1 для ремонта магистрального нефтепровода с заполнением композитным компанаудом

Муфта исполнения П1 состоит из двух полумуфт. Соединение полумуфт между собой при монтаже на трубе за счёт продольных швов. При установке полумуфт на дефектном участке трубы необходимо наличие зазора не менее 6 мм. После установки полумуфт и выполнения продольных швов герметизируют торцы муфты с использованием быстрозатвердевающего герметика. Далее выполняют заполнение зазора между муфтой и трубой эпоксидным компанаудом.

Конструкцией полумуфт предусматривает наличие установочных болтов, регулируя которые, можно устанавливать зазор между полумуфтой и трубой. На нижней полумуфте имеется штуцер, через который происходит подача эпоксидного компанауда. АН верхней полумуфте имеется штуцер, через который происходит стравливание воздуха при заполнении пространства между трубой и муфтой эпоксидным компанаудом.

Стенка полумуфты имеет толщину 14 мм и выполняется из стали 17Г1С.

Особенности установки ремонтной муфты на трубопроводе при локальном ремонте критических дефектов представлены на рисунке 10. При выполнении локального ремонта магистрального трубопровода стальными муфтами проводя следующие операции:

- выполняют зачистку дефектного места,
- уточняют границы залегания дефекта на участке трубы,
- устанавливают на трубу полумуфты,
- приваривают к полумуфтам вводные планки,
- выполняют сварку корневого слоя на продольных швах полумуфт,
- выполняют заполняющие слои на продольных швах полумуфт,
- контролируют качество сварных швов,
- герметизируют торцы муфт на трубе,
- заполняют зазор между муфтой и трубой.

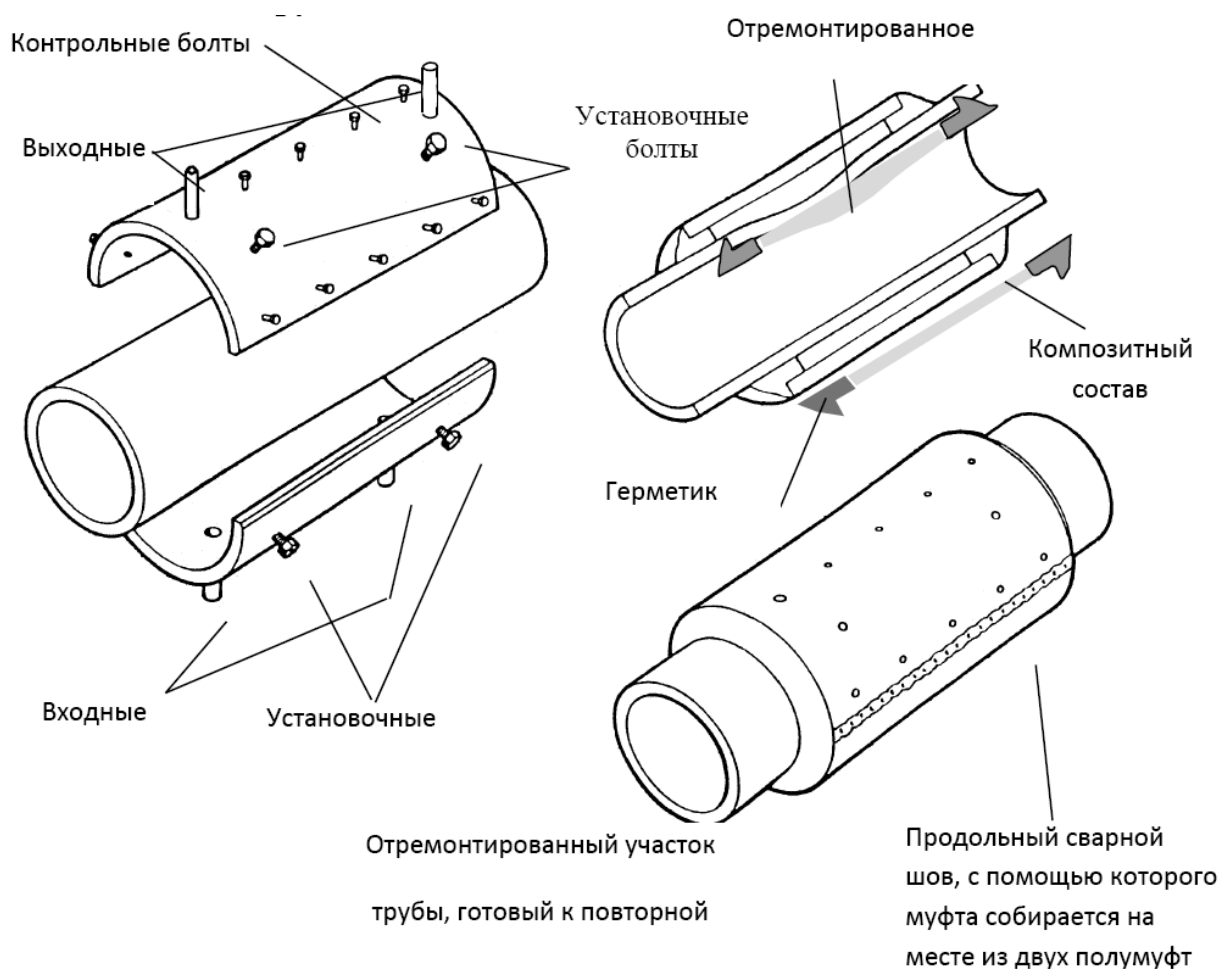


Рисунок 10 – Установка ремонтной муфты III на линейном участке трубопровода

После определения границ залегания дефекта выполняют разметку трубы при помощи маркера. Далее на участке залегания дефекта освобождают поверхность трубы от изоляционного покрытия. Далее выполняют очистку поверхности трубы, удаляя с него при помощи шлифовальной машинки и металлической щётки ржавчину, грязь и окалину.

Перед тем, как устанавливать ремонтную муфту, выполняют уточнение границ залегания дефекта. Длину глубину дефекта определяют, применяя штангенциркуль, шаблон сварщика и металлическую линейку. Остаточная толщина стенки трубопровода определяется с использованием ультразвукового толщиномера.

При подготовке места на трубопроводе для установки ремонтной муфты необходимо соблюдать минимальное расстояние от торца муфты до

стыка трубопровода, которое должно быть не менее 100 мм. Также следует обеспечить расстояние от торца ремонтной муфты до патрубков на трубопроводе не мене 100 мм.

Кромки ремонтных полумуфт перед установкой на трубопроводе должны быть зачищены до металлического блеска с внутренней и наружной стороны на ширину 20 мм.

На кромках полумуфт должна быть выполнена V-образная разделка, как показано на рисунке 11.

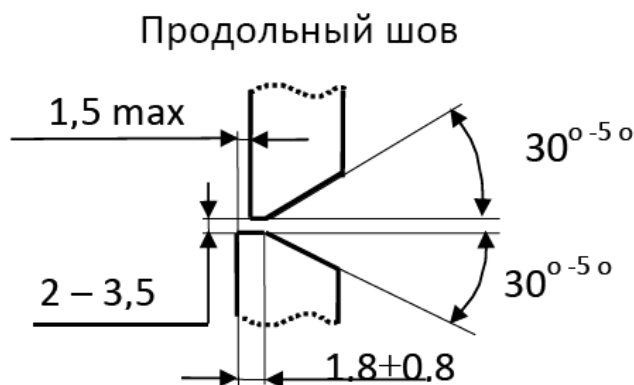


Рисунок 11 – Разделка кромок продольных стыков муфты

Ремонтную муфту на трубопроводе монтируют с применением специальной оснастки и подъёмной техники. При сборке полумуфт технологический зазор между ними должен составлять 2...3,5 мм.

При установке ремонтных стальных муфт применяют ручную дуговую сварку. Расходным материалом в этом случае являются сварочные электроды УОНИ 13/55. Химический состав наплавленного металла представлен в таблице 2. Механические свойства наплавленного металла представлены в таблице 3.

Перед использованием электродов необходимо выполнить их прокалку, параметры которой представлены в таблице 4. После того, как прокалка электродов была выполнена, их необходимо поместить в печь, которая предварительно была разогрета до 80...100 °С. Электроды следует вынимать из печи непосредственно перед сваркой поштучно.



Таблица 2 – Химический состав наплавленного металла электродами УОНИ 13/55

«Марка электрода	C	Mn	Si	Ni	Mo	S+P
УОНИ 13/55	<0,09	1,05	0,42	-	-	< 0,040

Таблица 3 – Механические свойства наплавленного металла электродами УОНИ 13/55

Марка электрода	Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение	Ударная вязкость KCV	Ударная вязкость KCU
	$\sigma_T$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	Дж/см <sup>2</sup>	Дж/см <sup>2</sup>
УОНИ 13/55	420	530	20	130, +20°C 80, -40°C 34, -60°C	59, -30°C 35, -40°C

Таблица 4 – Параметры прокалики электродов перед сваркой

Марка электрода	Температура прокалики	Время прокалики
УОНИ 13/55» [18]	380...420 °С	90...120 мин

Прокалику электродов выполняют с применением печи ЭПСЭ-40/400, которая представлена на рисунке 12-а. Хранение электродов после прокалики выполняют с применением резервной печи ЭПСЭ-10/400, которая представлена на рисунке 12-б.

Для выполнения сварных швов в качестве источника питания применяется выпрямитель ВД-306, который представлен на рисунке 13.

При выполнении прихваток полумуфт применяются параметры режима, которые соответствуют выполнению корневого слоя шва. Параметры режима сварки при выполнении корневого, заполняющего и облицовочного слоёв в зависимости от диаметра применяемого электрода шва приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры режима при выполнении ремонтной сварки

Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
Корневой	3,0	90...120
Заполняющие	3,0	100...130
	4,0	140...170
Облицовочный	3,0	100...120
	4,0	135...160

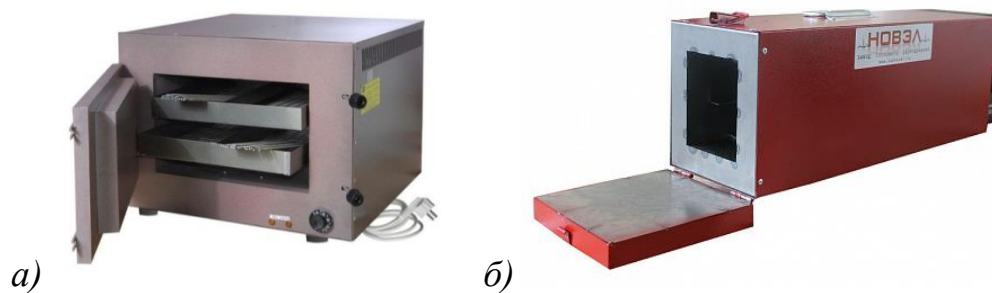


Рисунок 12 – Оборудование для прокали и хранения прокаленных электродов: ЭПСЭ-40/400 (а) и ЭПСЭ-10/400 (б)



Рисунок 13 – Сварочный выпрямитель ВД-306

В выполнении прихваток принимают участие два сварщика, которые расположены с разных сторон трубы, при этом сварщики двигаются сонаправленно.

Место на расположения прихватки предварительно необходимо подогреть до 100...150 °С с применением газового пламени. Температуру нагрева следует контролировать контактной термопарой.

Расстояние между прихватками должно быть около 500 мм при длине прихватки порядка 50 мм. На один продольный шов должно быть выполнено не менее трёх прихваток. Каждая прихватка должна быть визуально проконтролирована на предмет недопустимых дефектов – трещин и непроваров. В случае обнаружения дефектной прихватки её удаляют и повторно сваривают.

После выполнения прихваток на концах продольных швов полумуфт приваривают входные пластины толщиной от 3 до 5 мм из стали Ст 3. Длина входных пластин должна быть не менее 40 мм. За счёт применения входных

и выходных пластин обеспечивается отсутствие в сварном шве кратеров на его концах. После того, как сварка шва завершена, входные пластин вместе с дефектным металлом срезаются, место среза зачищается. Сборка полумуфт перед сваркой и приварка вводных планок представлены на рисунке 14.

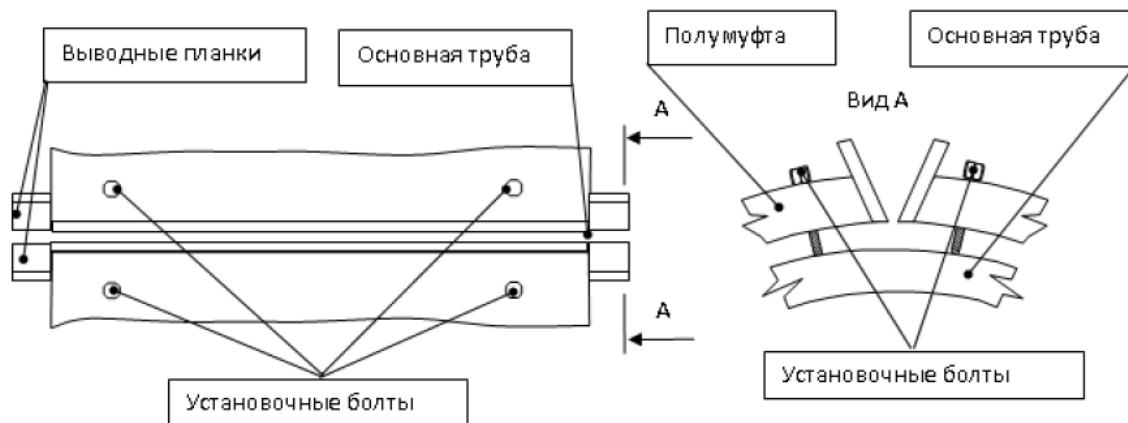


Рисунок 14 – Сборка полумуфт перед сваркой

«Для выполнения корневого слоя шва привлекаются два сварщика, накладывающие шов одновременно с двух сторон трубы. Перед сваркой выполняют предварительный подогрев до 100...150 °С газовым пламенем. Температуру предварительного нагрева контролируют при помощи термического карандаша или контактной термопары в четырёх точках» [15]. Сварку корневого слоя шва выполняют обратноступенчатым способом от центра к краям, что позволяет уменьшить остаточные напряжения и деформации. Техника выполнения корневого слоя шва представлена на рисунке 15.

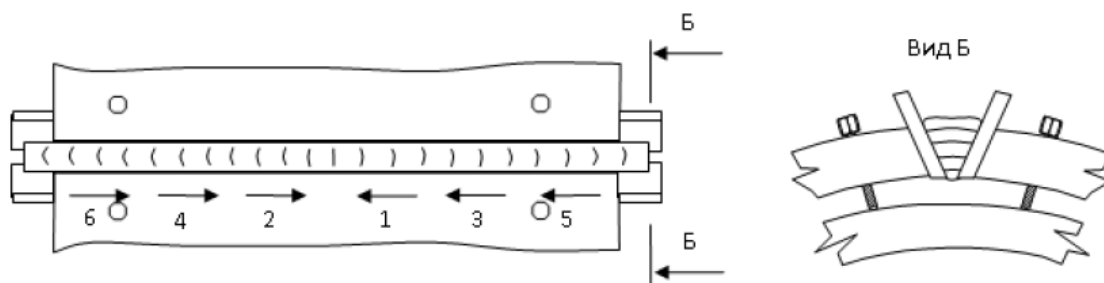


Рисунок 15 – Последовательность выполнения корневого и заполняющих слоёв шва

Последовательность выполнения валиков заполняющего шва представлена на рисунке 16.

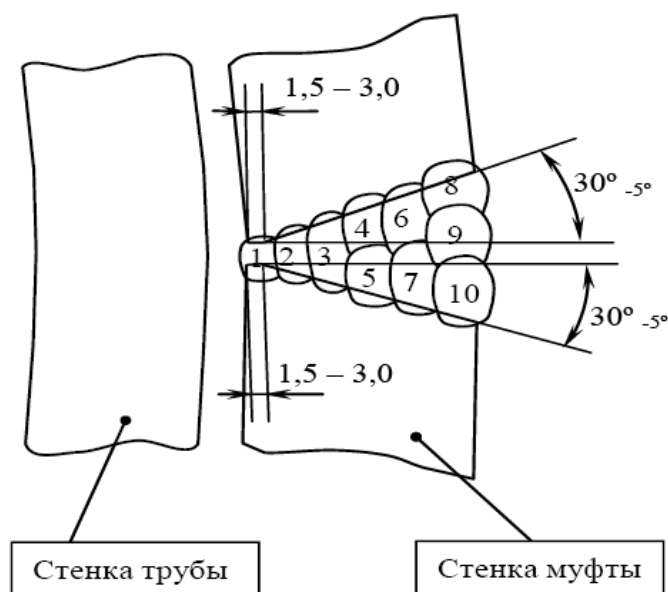


Рисунок 16 - Последовательность наложения швов по сечению сварного соединения продольных стыков муфт

«После выполнения заполняющих слоёв накладывают облицовочный слой, который должен перекрывать металл полумуфты на 1,5...2,5 мм и иметь усиление 1...3 мм. Облицовочный слой должен плавно переходить на металл полумуфты.

После выполнения продольных сварных швов необходимо провести их контроль качества с применением визуально-измерительного и ультразвукового контроля» [15].

Объём визуально-измерительного контроля 100 %. Объём ультразвукового контроля 30 %.

При визуально-измерительном контроле проверяют сварной шов на наличие трещин, прожогов, насплавлений, выходящих на поверхность пор, подрезов. Также не допускается вогнутость корня шва более чем на 1,5 мм.

Поверхность сварного шва должна быть гладкой или мелкочашуйчатой. Переход от металла шва к основному металлу должен

быть плавным. Не допускается наличие незаваренных кратеров. Перекрытие валиков облицовочного слоя должно быть не менее  $1/3$  их ширины.

При помощи ультразвукового контроля выявляют внутренние дефекты: расслоения, трещины, подрезы корня шва, поры, шлаковые включения и непровары. Ультразвуковой контроль выполняют на участке не менее 50 мм во все стороны от границы сварного шва.

#### **1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности ремонта магистральных трубопроводов с применением стальных муфт.

При выполнении локального ремонта магистрального трубопровода стальными муфтами проводя следующие операции:

- выполняют зачистку дефектного места,
- уточняют границы залегания дефекта на участке трубы,
- устанавливают на трубу полумуфты,
- приваривают к полумуфтам вводные планки,
- выполняют сварку корневого слоя на продольных швах полумуфт,
- выполняют заполняющие слои на продольных швах полумуфт,
- контролируют качество сварных швов,
- герметизируют торцы муфт на трубе,
- заполняют зазор между муфтой и трубой.

Применяемая в базовой технологии сварка штучными электродами обладает рядом недостатков.

Во-первых, в настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы повышения эффективности за счёт оптимизации параметров режима. Поэтому дальнейшее форсирование режимов наплавки и

сварки не представляется возможным, что приводит к низкой производительности.

Во-вторых, следует отметить низкую стабильность качества ручной дуговой сварки, которая получается вследствие пористости, непроваров и трещин.

В-третьих, следует отметить вредные условия труда сварщика, которому приходится выполнять сварку в атмосфере сварочного аэрозоля.

В четвёртых, при ручной дуговой сварке наблюдается повышенный расход дорогостоящих электродов из-за разбрызгивания, угара и огарков.

На основании проведённого анализа состояния вопроса и источников научно-технической информации в первом разделе выпускной квалификационной работы были сформулированы её задачи.

Первой задачей является проведение экспертной оценки альтернативных способов сварки и обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии.

Второй задачей является назначение оптимальных параметров режима сварки.

Третьей задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки на основании современных исследований в области управления сварочной дугой.

Четвёртой задачей является составление требований к выполнению операций проектного технологического процесса.

В ходе выполнения оценочного блока следует:

- выполнить оценку проектной технологии на предмет безопасности труда и отрицательного воздействия на окружающую среду [1], [4];
- выполнить оценку финансовых затрат на осуществление базовой и проектной технологии с вычислением экономической эффективности предлагаемых технологических решений [6], [7].

## **2 Проектная технология ремонтной сварки магистрального трубопровода**

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

Выбору способа сварки при изготовлении и ремонте металлических конструкций должен предшествовать конструкционно-технологический анализ, в ходе которого необходимо рассмотреть [18], [20]:

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

При анализе химической активности стали 17Г1С следует отметить её малую химическую активность. Исходя из этого, при выполнении сварных конструкций из стали 17Г1С могут быть применены все известные способы сварки.

Для рассматриваемой толщины стенок порядка 10...16 мм применение газовой, аргонодуговой и электрошлаковой сварки будут затруднены. Поэтому их следует отбросить.

При рассмотрении конфигурации и протяжённости сварных швов в конструкции следует указать, что выполняется сварка продольных швов длиной в несколько сотен мм, которые находятся, в основном, в

горизонтальном положении. Исходя из этого, следует рассмотреть такие способы сварки, как:

– ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 17-а;

– автоматическая сварка под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 17-б;

– сварка плавящимся электродом в защитных газах, схема выполнения которой представлена на рисунке 17-в;

– сварка порошковой самозащитной проволокой, схема выполнения которой представлена на рисунке 17-г.

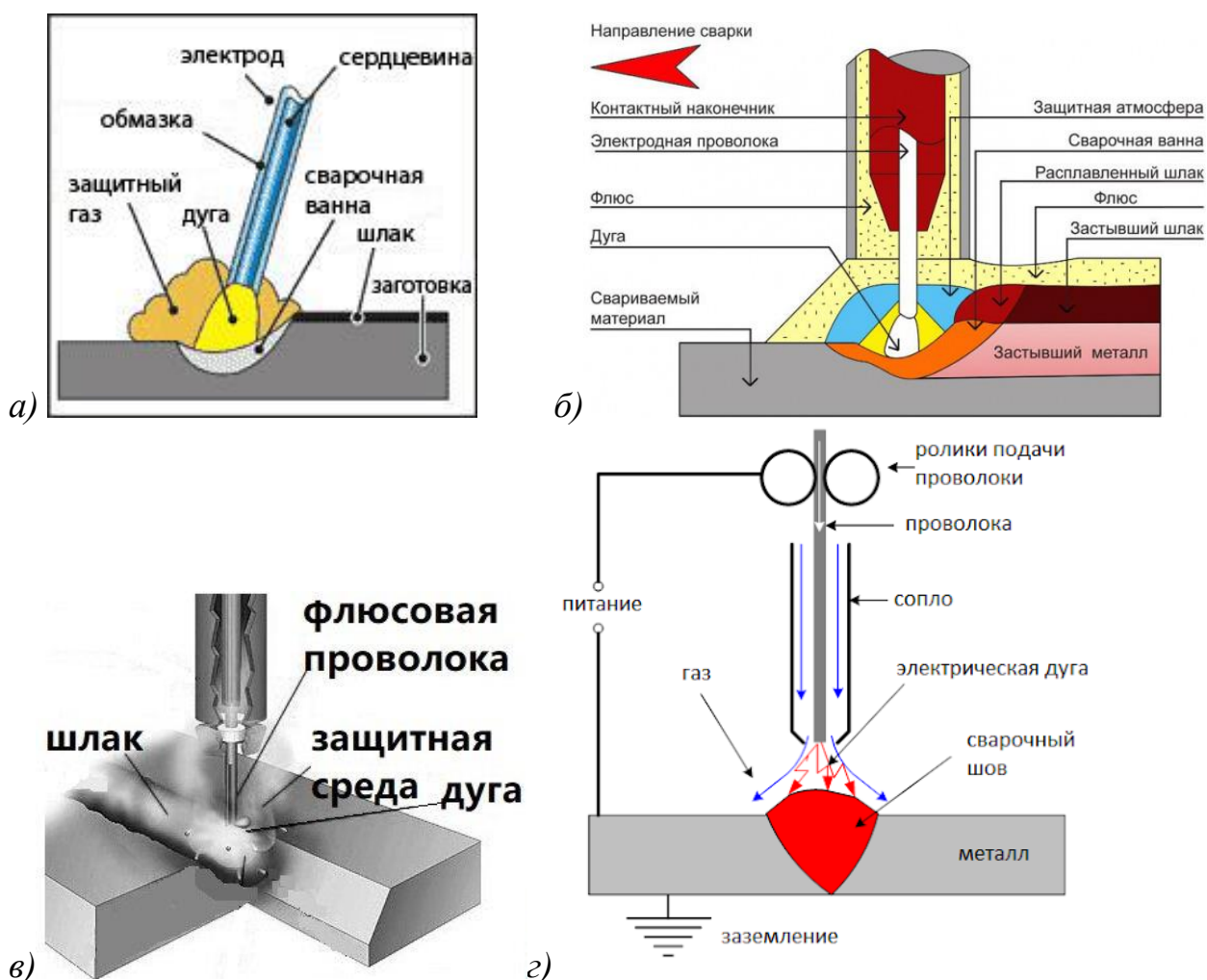


Рисунок 17 – Альтернативные способы сварки при установке ремонтных конструкций на магистральном трубопроводе: ручная дуговая сварка (а), сварка под флюсом (б), самозащитной порошковой проволокой (в), механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения (г)



Ручная дуговая сварка имеет ряд преимуществ, которые позволили получить ей широкое распространение во многих отраслях промышленности [2], [9]:

- для реализации технологии с применением ручной дуговой сварки нет необходимости привлекать узких специалистов со специальными знаниями по сварочным технологиям;
- оборудование для ручной дуговой сварки по сравнению с оборудованием для других способов сварки обладает дешевизной и простотой;
- для реализации технологии сварки ручной дуговой сварки в большинстве случаев отсутствует необходимость покупки нового сварочного оборудования.

Сварка под флюсом позволяет получать соединения высокого качества и с высокой производительностью. «Использование автоматической сварки под флюсом позволяет сваривать металл толщиной 10...20 мм при двухсторонней однопроходной сварке на флюсовой подушке. Широкое распространение сварки под флюсом в массовом производстве обусловлено преимуществами этого способа» [18]:

- высокую производительность, которая многократно превышает производительность при ручной дуговой сварке;
- сварка под флюсом не предъявляет серьезных требований к квалификации сварщика, что наблюдается при ручной дуговой сварке;
- сварка под флюсом характеризуется высоким качеством наплавленного металла;
- при сварке под флюсом значительно улучшаются условия труда сварщика, так как устраняется разбрызгивание, что уменьшает вред сварочного аэрозоля. Кроме того, значительно снижается тепловое и световое воздействие дуги, которая скрыта под слоем флюса.

В качестве альтернативы ручной дуговой сварки выступает механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах. В настоящее время происходит планомерная замена ручной дуговой сварки механизированными и автоматическими способами [9], [10], [11]. В числе преимуществ этого способа сварки можно отметить:

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

Сварка самозащитной порошковой проволокой предоставляет значительные преимущества при организации технологического процесса, которые наиболее полно проявляются именно в условиях монтажа и ремонта [16], [18].

В числе преимуществ сварки самозащитными порошковыми проволоками можно обозначить:

- сварка порошковыми проволоками позволяет получить большую производительность по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой в защитном газе;
- существенно повышается мобильность сварочного поста, так как при сварке не требуется применение газовой аппаратуры;

- при работе на открытом воздухе обеспечивается лучшая защита сварного шва по сравнению со сваркой в защитном газе.

Выполняли экспертную оценку каждого способа. В качестве критериев принимали: «мобильность способа, стабильность качества сварки, условия труда сварщика, стоимость сварочного оборудования, стоимость сварочных материалов, производительность способа» [18].

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

Таблица 6 - Обоснование выбора способа сварки

Показатель	Способ сварки			
	Ручная дуговая сварка штучными электродами	Сварка под слоем флюса	Сварка самозащитной порошковой проволокой	Сварка плавящимся электродом в защитном газе
«Мобильность способа	4	1	3	2
Качество сварного шва	1	4	2	3
Условия труда	1	3	2	4
Стоимость оборудования	4	1	3	2
Стоимость сварочных материалов	2	3	1	4
Производительность» [18], [20]	1	4	3	2
ВСЕГО	13	16	13	17

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

## 2.2 Повышение эффективности выбранного способа сварки

Недостатками механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах являются [10], [11]:

- «наличие газовых баллонов и механизма подачи проволоки, что несколько усложняет способ сварки и снижает его мобильность;
- повышенное разбрызгивание электродного металла ограничивает ток сварки и не позволяет повысить производительность сварочных работ за счёт перехода на форсированные режимы сварки;
- из-за пониженной пластичности расплавленного металла повышается вероятность получения трещин» [10], [11].

«Для того, чтобы устранить недостатки механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и повысить эффективность этого способа сварки, применяют импульсную подачу сварочной проволоки и импульсное управление горением сварочной дуги» [11].

Также при сварке в качестве защитного газа может быть применён как чистый углекислый газ, так и его смесь с инертными газами. При этом даже сварка в чистом инертном газе не обеспечивает полной защиты металла шва и сварочной ванны от действия атмосферы. Происходит интенсивный подсос окружающего воздуха в зону сварки, также приходится считаться с содержанием вредных примесей как в самом защитном газе, так и на поверхности деталей и проволоки.

При повышении эффективности механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения было рассмотрено четыре варианта технологии.

Первый вариант предусматривал сварку в чистом углекислом газе и подачу сварочной проволоки с постоянной скоростью. Вторым вариантом предусматривал сварку в смеси защитных газов 70 % аргона и 30 % углекислого газа, скорость подачи сварочной проволоки принималась постоянной. Третьим вариантом предусматривал сварку в чистом углекислом газе, скорость подачи сварочной проволоки изменялась импульсно. При четвёртом варианте применяли как импульсную подачу сварочной проволоки, так и смесь защитных газов.

В качестве источника питания применяли источник Invertec STT, представленный на рисунке 18-а. В качестве механизма подачи проволоки применяли LF-33, представленный на рисунке 18-б.

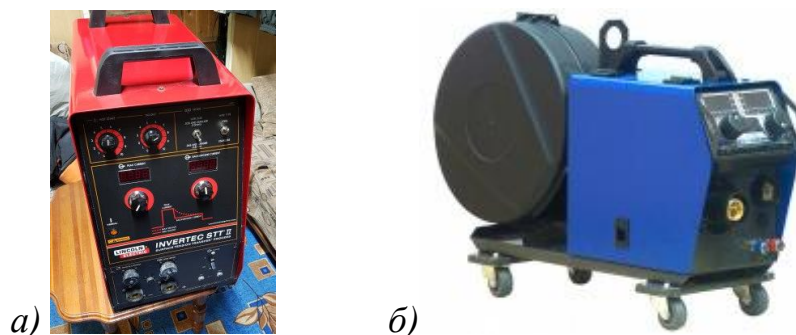


Рисунок 18 – Применяемое для сварки оборудование: источник питания Invertec STT (а) и механизм подачи LF-33 (б)

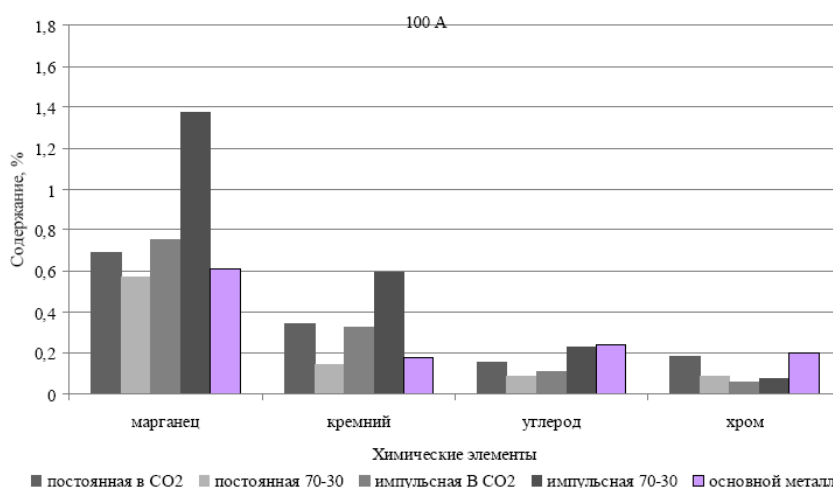


Рисунок 19 – Содержание химических элементов в сварном шве при токе сварки 100 А

Экспериментальную наплавку выполняли на образец из стали СтЗпс толщиной 6 мм. В качестве сварочной проволоки применяли проволоку Св-08ГСМТ диаметром 1,2 мм. Силу сварочного тока устанавливали в диапазоне 100...140 А.

В ходе исследований установлено, что импульсная подача сварочной проволоки способствует меньшему выгоранию легирующих элементов – кремния и марганца. Также сварка в смеси защитных газов позволяет существенно снизить выгорание легирующих элементов.

### 2.3 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки трубопровода

«Качество сварочной проволоки должно соответствовать ГОСТ 2264. Упаковка сварочных материалов должна быть проведена согласно требованиям ТУ на эти материалы. Обязательно наличие сертификатов предприятия-изготовителя, которые удостоверяют качество поставленной сварочной проволоки. Очищенная и намотанная в кассеты сварочная проволока должна храниться в закрытых помещениях, температура в которых не опускается ниже +15 °С. При этом на каждой кассете с проволокой на видном месте необходимо выполнить маркировку несмываемой краской. При намотке проволоки на кассеты следят за тем, чтобы не было перегибов. Сварочные проволоки в зависимости от условий поставки могут быть полированными, омеднёнными или осветлёнными» [14].

Для защиты сварочной ванны и перегретого металла применим газовую смесь (Ar 70% + CO<sub>2</sub> 30%), баллоны с которой представлены на рисунке 20-а.



Рисунок 20 – Сварочные материалы: газовая смесь «Ar 70% + CO<sub>2</sub> 30%» (а) и Сварочная проволока SuperArc L-56 (б)

Для механизированной сварки применяется проволока сплошного сечения диаметром 1,14 мм марки L-56 производства Lincoln Electric, показанная на рисунке 20-б. Химический состав проволоки представлен в таблице 7. Механические свойства металла шва представлены в таблице 8.

Таблица 7 – Химический состав проволоки SuperArc L-56

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

Таблица 8 – Механические свойства наплавленного металла проволокой SuperArc L-56

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

При выполнении локального ремонта магистрального трубопровода стальными муфтами проводя следующие операции:

- выполняют зачистку дефектного места,
- уточняют границы залегания дефекта на участке трубы,
- устанавливают на трубу полумуфты,
- приваривают к полумуфтам вводные планки,
- выполняют сварку корневого слоя на продольных швах полумуфт,
- выполняют заполняющие слои на продольных швах полумуфт,
- контролируют качество сварных швов,
- герметизируют торцы муфт на трубе,
- заполняют зазор между муфтой и трубой.

Неизменяемые операции технологического процесса были ранее описаны в первом разделе настоящей выпускной квалификационной работы. В проектной технологии изменился способ сварки, что, в свою очередь, внесло изменения в сварочные операции.

Для выполнения сварки швов применим источник питания Invertec STT-II и полуавтомат LF-33, показанными на рисунке 21.

Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности, параметры режима сварки представлены в таблице 9. Перед тем, как возбудить сварочную дугу, следует выполнить обдув зоны сварки защитным газом при расстоянии сопла горелки от поверхности детали не более 25 мм.



Рисунок 21 – Источник питания Invertec STT-II с механизмом подачи проволоки LF-33

Таблица 9 – Параметры режима импульсной сварки 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

При выполнении сварных швов следует избегать обрыва дуги. В противном случае образовавшийся кратер и прилегающий к нему металл в радиусе 15 мм зачищают от шлака. Повторное возбуждение дуги выполняют на ранее заваренном участке шва, лежащем на расстоянии 10...15 мм от кратера.

Обрыв дуги необходимо выполнять после того, как кратер заполнен расплавленным металлом. После обрыва дуги следует продолжать обдув сварочной ванны и кристаллизующегося металла до его потемнения.

Последовательность наложения слоёв при выполнении продольных швов представлена на рисунке 22. После завершения каждого прохода следует проверить качество сварки визуально и убедиться в отсутствии трещин.



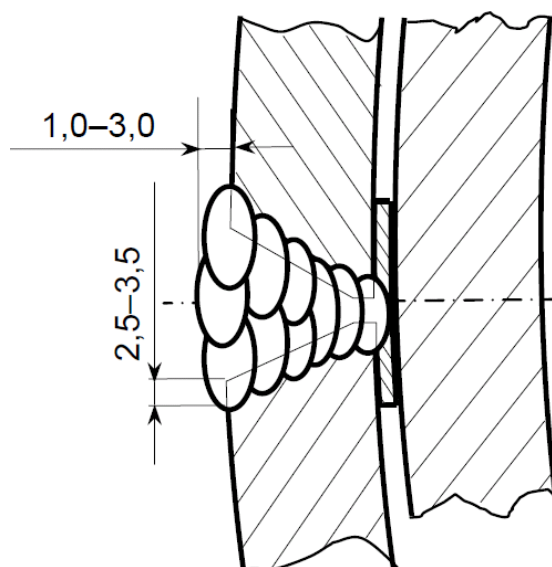


Рисунок 22 – Последовательность наложения слоев при сварке продольных швов муфт

После выполнения продольных сварных швов необходимо провести их контроль качества с применением визуально-измерительного и ультразвукового контроля.

Объём визуально-измерительного контроля 100 %. Объём ультразвукового контроля 30 %.

При визуально-измерительном контроле проверяют сварной шов на наличие трещин, прожогов, насплавлений, выходящих на поверхность пор, подрезов. Также не допускается вогнутость корня шва более чем на 1,5 мм.

Поверхность сварного шва должна быть гладкой или мелкочашуйчатой. Переход от металла шва к основному металлу должен быть плавным. Не допускается наличие незаваренных кратеров. Перекрытие валиков облицовочного слоя должно быть не менее  $1/3$  их ширины.

При помощи ультразвукового контроля выявляют внутренние дефекты: расслоения, трещины, подрезы корня шва, поры, шлаковые включения и непровары. Ультразвуковой контроль выполняют на участке не менее 50 мм во все стороны от границы сварного шва.

### **3 Экологическая экспертиза результатов выпускной квалификационной работы**

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

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности сварочных работ при выполнении ремонта магистральных трубопроводов с применением муфт.

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

При выполнении проектной технологии предусмотрено пять операций технологического процесса: «зачистка дефектного участка, уточнение параметров и границ дефекта, установка ремонтной муфты, сварка продольных швов муфты, контроль качества» [14].

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

Кроме того, предстоящий анализ позволит не только устранить профессиональные риски, но и повысить пожарную безопасность технического объекта, паспорт которого представлен в таблице 10.

Технологический паспорт объекта – участка для ремонтной сварки магистрального трубопровода – позволяет разделить технологический процесс по операциям и указать для каждой операции применяемое оборудование. Также для каждой операции указывается привлекаемый персонал, который может оказаться под негативным воздействием опасных и

вредных факторов, сопровождающих выполнение данной операции технологического процесса.

Таблица 10 – Технологический паспорт участка ремонтной сварки магистрального трубопровода

«Составляющая технологический процесс операция»	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества» [4]
«Зачистка дефектного участка»	Слесарь-сборщик	- машинка шлифовальная	- круг абразивный
Уточнение параметров и границ дефекта	Дефектоскопист рентгенографирования	- аппарат рентгеновского контроля Арина-5	радиографическая плёнка
Установка муфты	Слесарь-сборщик	- сборочное устройство, - шаблон сварщика	- круг абразивный
Сварка продольных швов	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- сварочный источник питания, - полуавтомат, - машинка шлифовальная	- сварочная проволока, - защитный газ, - круг абразивный
Контроль качества» [14]	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат рентгеновского контроля	радиографическая плёнка

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

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

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

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

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

Для того, чтобы выделить и выполнить оценку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии, необходимо рассмотреть каждую операцию, как показано в таблице 11.

На основании данных таблицы 11 были указаны следующие опасные и вредные производственные факторы:

- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги;
- ультрафиолетовое излучение;
- инфракрасное излучение;
- радиоактивное излучение.

Таблица 11 – Идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникающих при осуществлении проектной технологии

«Операция технологического процесса	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник негативного фактора» [4]
Зачистка дефектного участка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	- машинка шлифовальная
Уточнение параметров и границ дефекта		- аппарат рентгеновского контроля Арина-5
Установка муфты	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	- сборочное устройство,  - шаблон сварщика
Сварка продольных швов	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	- сварочный источник питания,  - полуавтомат,  - машинка шлифовальная
Контроль качества	- радиоактивное излучение; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Аппарат рентгеновского контроля

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

### **3.3 Предлагаемые меры по уменьшению воздействия на персонал негативных производственных факторов**

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

Для каждого такого фактора на основании литературного анализа источников [1], [4] могут быть предложены стандартные решения, которые представлены в виде технических средств и организационных мероприятий. Эти средства представлены в таблице 12, их грамотное применение позволяет устранить действие негативных факторов или уменьшить его до приемлемого уровня.

Для уменьшения профессиональных рисков предлагается:

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

Таблица 12 – Мероприятия по устранению негативных производственных факторов

«Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов» [14]
наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проведение инструктажа персонала по вопросам обеспечения безопасности труда;</li> <li>- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;</li> <li>- оснащение оборудования защитной блокировкой</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
механическое взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка ограждений, препятствующих несанкционированному проникновению в опасную зону;</li> <li>- применение специальных табличек и плакатов, сигнализирующих об опасности;</li> <li>- оснащение оборудования защитной блокировкой</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка устройств общеобменной и местной вентиляции рабочего пространства</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой и средствами индивидуальной защиты
опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	<ul style="list-style-type: none"> <li>- применение устройств защитного отключения электропитания оборудования;</li> <li>- применение защитного заземления и зануления оборудования;</li> <li>- контроль состояния защитных устройств и изоляции;</li> <li>- инструктаж по электробезопасности</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
нагрев поверхности деталей до высоких температур	<ul style="list-style-type: none"> <li>- автоматизация технологических процессов;</li> <li>- инструктаж персонала</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
инфракрасное излучение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
ультрафиолетовое излучение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- установка защитных экранов, снижающих интенсивность излучения</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой
радиоактивное излучение	<ul style="list-style-type: none"> <li>- уменьшение времени негативного воздействия</li> </ul>	Оснащение рабочего персонала специальной одеждой

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

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

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

### **3.4 Пожарная безопасность на производстве**

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

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

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

В таблице 13 представлена идентификация факторов пожара.

Предлагаемые мероприятия представлены в таблице 14.



Таблица 13 – Класс пожара и идентификация его негативных факторов

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Производственный участок с установленным на нём оборудованием	Станок токарно-винторезный, автомат сварочный, источник питания сварочной дуги, электропечь, подъёмный кран	«Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [14]	Пламя и искры, тепловой поток, повышенную температуру окружающей среды, повышенную концентрацию токсичных продуктов горения и термического разложения, уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	негативное влияние используемых при тушении пожара химикатов на оборудование и персонал, порчу электрического оборудования вследствие нарушения целостности изоляции и короткого замыкания

Таблица 14 – Предлагаемые организационные мероприятия по снижению риска возникновения пожаров на предприятии

«Наименование технологического процесса»	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности» [4]
Сборка и сварка при ремонте магистральных трубопроводов	- Проведение «ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. - Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими» [4]	- Для ограничения разлёта искр при пожаре необходимо оснастить участок специальными защитными экранами. - На участке должны в достаточном количестве находиться первичные средства пожаротушения.

Для обеспечения пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка предлагается применение средств, представленных в таблице 15. Эти средства должны быть размещены на производственном участке в доступных для персонала местах и содержаться в исправном состоянии.

Таблица 15 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

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

### 3.5 Экологическая безопасность проектной технологии

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

Негативные факторы, действие которых на окружающую среду возможно при реализации проектной технологии, представлены в таблице 16.

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

Таблица 16 – Идентификация негативных экологических факторов проектной технологии

Технологический процесс	Операции, технологического процесса	Негативные факторы проектной технологии, которые отрицательно влияют на окружающую среду		
		в атмосфере	в гидросфере	в литосфере
Сборка и сварка при ремонте магистральных трубопроводов	Зачистка дефектного участка	-	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
	Уточнение параметров и границ дефекта	-	масло,	, частицы упаковки, бытовой мусор
	Установка муфты	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
	Сварка продольных швов	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	Контроль качества	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
	Зачистка дефектного участка	вредные испарения	масло, химикаты от проявки	частицы упаковки, бытовой мусор

Таблица 17 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [4]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [4]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [4]

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

### Выводы по экологическому разделу

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

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

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

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

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

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений**

### **4.1 Исходные данные для выполнения расчётов по экономической эффективности**

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности сварочных работ при выполнении ремонта магистральных трубопроводов с применением муфт.

Базовая технология сварки трубопровода применение ручной дуговой сварки и механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения.

Устраняемые недостатки ручной дуговой сварки следующие.

Первый недостаток – низкая производительность ручной дуговой сварки, которая не может быть увеличена путём корректировки параметров режима и состава сварочных электродов.

Второй недостаток – при ручной дуговой сварке наблюдается низкая стабильность качества, что объясняется непроварами, пористостью и трещинами.

Третий недостаток – при ручной дуговой сварке сварщику приходится работать в тяжёлых условиях, которые усугубляются вредным воздействием образующегося при горении дуги сварочного аэрозоля;

Четвёртый недостаток – расход электродов на огарки, разбрызгивание и угар приводят при ручной дуговой сварке к увеличению расходов на сварочные материалы.

Таким образом, для выполнения экономических расчётов по оценке эффективности проектной технологии следует свести в таблицу 18 исходные данные по базовому и проектному вариантам технологии.

Таблица 18 – Исходные данные для экономической оценки эффективности проектной технологии по сравнению с базовой технологией

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	80 тыс.	250 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	4	8
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	200	200
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	$(P/m^2)/год$	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	$P/m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [14]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

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

## 4.2 Расчёт объёмов фонда времени

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

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (1) получаем:

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

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

$$F_э = F_H (1 - B/100). \quad (2)$$

При подстановке исходных значений в формулу (2) получаем:

$$F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.}$$

### 4.3 Расчёт штучного времени

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (3) получаем для базового варианта:  $t_{шт.баз} = 1,71 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 3$  часа, проектного варианта:  $t_{шт.пр} = 0,57 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1$  часа.

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



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

При подстановке исходных значений в формулу (4) получаем для базового варианта:  $\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/3 = 685$  ремонтов за год, проектного варианта:  $\Pi_{\Gamma.\text{пр.}} = 2054/1 = 2054$  ремонтов за год.

При проведении последующих экономических расчетов примем годовую программу для проектного и базового вариантов технологии  $\Pi_{\Gamma} = 500$  дефектов в год, что примерно соответствует современным потребностям отрасли.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (5) получаем для базового варианта:  $n_{\text{расч}} = 3 \cdot 500 / (2054 \cdot 1,03) = 0,7$ , проектного варианта:  $n_{\text{расч}} = 1 \cdot 500 / (2054 \cdot 1,03) = 0,2$ .

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (6) получаем для базового варианта:  $K_{\text{э.б.}} = 0,7/1 = 0,7$ ; проектного варианта:  $K_{\text{э.п.}} = 0,2/1 = 0,2$ .

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

#### 4.4 Заводская себестоимость проектного и базового вариантов технологии

Проведение операции сварки при ремонтной сварке трубопроводов с применением муфт требует затрат сварочных материалов. При базовом варианте технологии такими материалами служат сварочные электроды. При проектной технологии сварочными материалами служат проволока и защитный газ. При дальнейших расчётах себестоимости выполнения работ необходимо определить затраты  $M$  на материалы с учётом цены материалов  $C_M$ , нормы расхода материалов  $H_p$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$ , воспользовавшись формулой:

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

При подстановке исходных значений в формулу (7) получаем:

$$M_{\text{баз.}} = 300 \cdot 0,5 \cdot 1,05 = 158 \text{ руб.};$$

$$M_{\text{пр.}} = (200 \cdot 0,4 + 10 \cdot 12) \cdot 1,05 = 210 \text{ руб.}$$

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (8) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{\text{осн}} = 3 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1128$  руб.; проектного варианта технологии:  $Z_{\text{осн}} = 1 \cdot 200 \cdot 1,88 = 376$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (9) получаем для базового варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 1128 \cdot 12/100 = 135$  руб.; проектного варианта технологии:  $Z_{\text{доп}} = 376 \cdot 12/100 = 45$  руб.

Объём фонда заработной платы ФЗП определим как сумму дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ . При этом для базового варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 1128 + 135 = 1263$  руб. Для проектного варианта объём фонда заработной платы составил:  $\text{ФЗП} = 376 + 45 = 421$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (10) получаем для базового варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 1263 \cdot 34/100 = 420$  руб.; для проектного варианта технологии:  $O_{\text{сн}} = 421 \cdot 34/100 = 143$  руб.

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

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (12) получаем для базового варианта:  $A_{об.} = 80000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 25$  руб.; для проектного варианта:  $A_{об.} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 1 / 2054 / 100 = 26$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (13) получаем для базового варианта:  $P_{э} = 12 \cdot 3 \cdot 3,2 / 0,7 = 165$  руб. Для проектного варианта получаем:  $P_{э} = 70 \cdot 1 \cdot 3,2 / 0,85 = 263$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (11) получаем для базового варианта:  $Z_{об} = 25 + 165 = 190$  руб. Для проектного варианта технологии получаем:  $Z_{об} = 26 + 263 = 289$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (14) получаем для базового варианта:  $C_{тех.} = 158 + 1263 + 420 + 190 + 78 = 2109$  руб. Для проектного варианта:  $C_{тех.} = 210 + 421 + 143 + 289 + 42 = 1105$  руб.

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (15) получаем для базового:  $C_{\text{цех}} = 2109 + 1,5 \cdot 1128 = 2109 + 1692 = 3801$  руб. Для проектного:  $C_{\text{цех}} = 1105 + 1,5 \cdot 376 = 1105 + 564 = 1669$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (16) получаем для базового:  $C_{\text{зав}} = 3801 + 1,15 \cdot 1128 = 3801 + 1297 = 5098$  руб. Для проектного:  $C_{\text{зав}} = 1669 + 1,15 \cdot 376 = 1669 + 432 = 2101$  руб.

В таблице 19 представлена калькуляция заводской себестоимости проведения проектной и базовой технологии.

Таблица 19 – Калькуляция заводской себестоимости проведения производственного процесса по базовому и проектному варианту технологии

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. «Затраты на материалы	М	158	210
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	1263	421
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	420	143
4. Затраты на оборудование	Зоб	190	289
5. Технологическая себестоимость	Стех	78	42
6. Объём цеховых расходов	Рцех	2109	1105
7. Цеховая себестоимость	Сцех	1692	564
8. Объём заводских расходов	Рзав	3801	1669
9. Заводская себестоимость» [6]	$C_{\text{зав}}$	1297	432

Как видно из таблицы 19, проведение производственного процесса по проектной технологии характеризуется меньшей заводской себестоимостью.

#### 4.5 Капитальные затраты по проектному и базовому вариантам технологии

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

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (18) получаем остаточную стоимость  $\Pi_{\text{об.б.}} = 80000 - (80000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 28400$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (17) получаем величину общих капитальных затрат  $K_{\text{общ. б.}} = 28400 \cdot 0,7 = 19880$  руб.

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

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (20) капитальные вложения в оборудование  $K_{об.пр.} = 250000 \cdot 1,05 \cdot 0,2 = 52500$  руб.

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

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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (22) расходы на демонтаж оборудования составили:  $P_{дем} = 80000 \cdot 0,05 = 4000$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (23) расходы на монтаж оборудования составили:  $P_{монт} = 250000 \cdot 0,05 = 12500$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (21) сопутствующие расходы составили:  $P_{\text{соп}} = 4000 + 12500 = 16500$  руб.

При подстановке исходных значений в формулу (19) общие капитальные затраты при реализации проектной технологии составили:  $K_{\text{общ.пр.}} = 52500 + 16500 = 69000$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (24) дополнительные капитальные вложения составят:  $K_{\text{доп}} = 69000 - 19880 = 49120$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (25) удельные капитальные вложения по базовому:  $K_{\text{уд}} = 19880/500 = 40$  руб./ед. Удельные капитальные вложения по проектному варианту составляют:  $K_{\text{уд}} = 69000/500 = 138$  руб./ед.

#### **4.6 Показатели экономической эффективности проектного варианта технологии**

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



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

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (26) снижение трудоёмкости составило:  $\Delta t_{шт} = (3-1) \cdot 100 \% / 3 = 67 \%$ .

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (27) повышение производительности труда составило:  $P_T = 100 \cdot 67 / (100 - 67) = 203 \%$ .

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости при внедрении предлагаемых технических решений составило:  $\Delta C_{\text{тех}} = (2109 - 1105) \cdot 100\% / 2109 = 48 \%$ .

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (29) условно-годовая экономия составила:  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (5098 - 2101) \cdot 500 = 1498500$  руб.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (30) срок окупаемости дополнительных составил:  $T_{\text{ок}} = 49120 / 1498500 = 0,1$  года.

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

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

При подстановке исходных значений в формулу (31) годовая экономия составила:  $\mathcal{E}_{\text{г}} = 1498500 - 0,33 \cdot 49120 = 1482290$  руб.

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

## Выводы по экономическому разделу

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

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

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

Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 67 % и увеличить производительность на 203 %.

Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 48%. При этом условно-годовая экономия составила 1,5 млн. рублей.

Дополнительные капитальные вложения окупятся за 0,1 года. При этом годовой экономический эффект составит 1,482 млн. рублей.

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

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности ремонта магистральных трубопроводов с применением стальных муфт.

Применяемая в базовой технологии сварка штучными электродами обладает рядом недостатков:

Во-первых, в настоящее время ручная дуговая сварка и наплавка исчерпали свои резервы повышения эффективности за счёт оптимизации параметров режима. Поэтому дальнейшее форсирование режимов наплавки и сварки не представляется возможным, что приводит к низкой производительности.

Во-вторых, следует отметить низкую стабильность качества ручной дуговой сварки, которая получается вследствие пористости, непроваров и трещин.

В-третьих, следует отметить вредные условия труда сварщика, которому приходится выполнять сварку в атмосфере сварочного аэрозоля.

В четвёртых, при ручной дуговой сварке наблюдается повышенный расход дорогостоящих электродов из-за разбрызгивания, угара и огарков.

На основании проведённого анализа состояния вопроса и источников научно-технической информации в первом разделе выпускной квалификационной работы были сформулированы её задачи.

Первой задачей является проведение экспертной оценки альтернативных способов сварки и обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии.

Второй задачей является назначение оптимальных параметров режима сварки.

Третьей задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки на основании современных исследований в области управления сварочной дугой.

Четвёртой задачей является составление требований к выполнению операций проектного технологического процесса.

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

Решая вторую задачу, были назначены оптимальные параметры режима сварки.

Решая третью задачу, сварку предложено вести с применением импульсного управления по технологии STT.

Решая четвертую задачу, составлена карта технологического процесса сборки и сварки.

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

Также в оценочной части выполнена оценка экономической эффективности проектной технологии по сравнению с построением производственного процесса по базовому варианту. Предлагаемые технологические решения позволяют уменьшить трудоёмкость выполнения работ на 67 % и увеличить производительность на 203 %. Уменьшение расходов по статьям позволило снизить технологическую себестоимость на 48 %. При этом годовой экономический эффект составит 1,482 млн. рублей.

Результаты выпускной квалификационной работы предлагается внедрить на предприятиях, выполняющих ремонтную сварку магистральных трубопроводов.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
2. Бут В. С., Олейник О. И. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 42–50.
3. Варламов Д. П., Дедешко В. Н., Канайкин В. А., Стеклов О. И. Повышение надежности магистральных газопроводов при использовании многократной внутритрубной дефектоскопии // Автоматическая сварка. 2012. № 3. С. 28–34.
4. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
5. Гумеров А. Г., Ямалеев К. М., Гумеров Р. С. Дефектность труб нефтепроводов и методы их ремонта. М. : Недра-Бизнесцентр, 1998. 253 с.
6. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
7. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
8. Ланге Б. С. Разработка методологии комплексной оценки качества магистральных трубопроводов в процессе строительного контроля : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва : Российской государственной университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2012.
9. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
10. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего :

монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

11. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : ЭкоТехнолопя, 2007. 192 с.

12. РД 153-39.4-130-2002. Методы ремонта дефектных участков действующих магистральных нефтепроводов.

13. РД 23.040.00-КТН-090-07. Классификация дефектов и методов ремонта дефектов и дефектных секций действующих магистральных нефтепроводов.

14. РД 39-0147103-330-86. Инструкция по приварке заплат и муфт на стенки труб нефтепроводов под давлением перекачиваемой нефти до 2,0 МПа.

15. РД 75.180.00-КТН-193-08. Технология установки ремонтных конструкций на трубопроводы диаметром 1067 и 1020 мм с давлением 10 МПа, 2008.

16. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.

17. Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Тютев А. В. Повышение механических свойств и структура неразъемных соединений труб нефте- и газопроводов из низколегированных марганцовистых сталей после импульсной сварки // Технология машиностроения. 2003. № 6. С. 41–44.

18. Сварка в машиностроении : справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978. том 2. / Под ред. А. И. Акулова, 1979. 462 с.

19. Сенцов С. И. Влияние системы менеджмента качества строительства на безотказность работы магистральных трубопроводов : диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2009.

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

21. Стеклов О. И., Антонов А. А., Севостьянов С. П. Обеспечение целостности сварных конструкций и сооружений при их длительной эксплуатации с применением реновационных технологий // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 7–12.

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

23. Трепова С. Ю., Безбородов В. П., Тютев А. В., Никонова И. В. Влияние режима импульсной сварки на структуру и свойства сварных соединений марганцовистых сталей // Известия Томского политехнического университета. 2004. № 6. С. 102–104.

24. Федосеева Е. М. Повышение качества сварных соединений сталей трубного назначения для обеспечения эксплуатационной безопасности магистральных трубопроводов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Пермь : Пермский государственный технический университет, 2011.

25. Фёдоров А. Г. Совершенствование методики ремонта нефтегазопроводов с применением стальных обжимных муфт : диссертация на соискание уч. степени кандидата техн. наук. Ухта : Ухтинский государственный технический университет, 2017.

26. Филатов А. А., Кочетов В. И., Велиюлин И. И., Хасанов Р. Р. Восстановление работоспособности дефектных труб с помощью упрочняющих конструкций // Территория «Нефтегаз». 2018. № 2. С. 68–72.

27. Харина И. Л., Гутарова А. Л., Морозова Т. В. Стойкость против сероводородного коррозионного растрескивания низколегированной стали высокой чистоты для трубопроводов сероводородсодержащих сред // Будущее машиностроения России: Третья Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов. М. : МГТУ им.Н.Э. Баумана. 2010.