

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 технологических трубопроводов производственно-отопительных котельных установок

Обучающийся

Р.А. Лысов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

П.Н. Селянин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

## Аннотация

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении ремонтных работ на технологических трубопроводах.

Базовая технология с применением ручной дуговой сварки приводит к возникновению значительного количества дефектов, исправление которых приводит к дополнительному снижению производительности. Кроме того, возникающие при сварке дефекты становятся очагами зарождения трещин при эксплуатации технологического трубопровода.

Анализ базовой технологии позволяет установить множественные недостатки, устранение которых, позволяет повысить производительность и качество выполнения сварочных работ.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Для повышения эффективности сварки предложено внедрить разработки отечественных исследователей.

Составлен проектный технологический процесс ремонтной сварки.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

Производительность труда повышается на 42 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 7 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,3 млн. рублей.

Результаты рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют работы по строительству и ремонту технологических трубопроводов на промышленных установках.

## **Abstract**

The title of the graduation work «Repair of technological pipelines of production and heating boiler plants».

For the manufacture of technological pipelines of heating installations, heat-resistant chromium-molybdenum steels are used. Taking into account the fact that the operating conditions of such a pipeline are characterized by elevated temperatures and pressure, the design service life is 100 thousand hours. In this case, the weakest in terms of the formation of defects and degradation of the metal are the places where welded pipe joints are made.

The aim of the work is improving the efficiency of welding processes during the repair of technological pipelines of production and heating boiler plants.

To improve the efficiency of welding, it is proposed to introduce the developments of domestic researchers.

A design process for repair welding has been drawn up.

The identification of these negative factors made it possible to propose standard methods and technical means for the protection of personnel and the environment.

Labor productivity increases by 42%. The reduction in technological cost amounted to 7%. At the same time, by increasing labor productivity and reducing costs, it was possible to obtain an annual economic effect in the amount of 0.3 million rubles.

## Содержание

Введение . . . . .	6
1 Современное состояние ремонтной сварки технологических трубопроводов производственно-отопительных котельных установок. . . . .	8
1.1 Особенности конструкции и эксплуатации рассматриваемого технологического трубопровода. . . . .	8
1.2 Сведения о материале технологического трубопровода. . . . .	10
1.3 Дефекты технологического трубопровода. . . . .	13
1.4 Описание базовой технологии исправления дефектов на технологическом трубопроводе. . . . .	16
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	20
2 Разработка проектной технологии ремонтной сварки технологического трубопровода. . . . .	21
2.1 Обоснование выбора способа сварки. . . . .	21
2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения. . . . .	24
2.3 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки технологического трубопровода. . . . .	29
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений. . . . .	34
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта. . . . .	34
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков. . . . .	36
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков. . . . .	38
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта. . . . .	39
3.5 Защита окружающей среды. . . . .	41

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений. . . . .	43
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям. . . . .	43
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования. . . . .	45
4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии. . . . .	46
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам. . . . .	48
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии. . . . .	52
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	54
Заключение . . . . .	56
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	58

## Введение

Развитие промышленности Российской Федерации должно быть основано на экономном расходовании трудовых, материальных и энергетических ресурсов. Актуальным является построение технологических процессов, позволяющих выполнять сборку и сварку с минимальным расходом энергии и материалов, при этом перед отечественным производителем продолжает стоять задача повышения качества и снижения трудоёмкости. Также следует отметить, что значительное количество производственных мощностей уже отработали нормативный ресурс и подлежат замене или капитальному ремонту.

Вышеизложенное справедливо и для отопительных установок, основной частью которых является технологический трубопровод, имеющий значительную протяжённость [7], [17].

Для изготовления технологических трубопроводов отопительных установок применяются теплоустойчивые хромомолибденовые стали. С учётом того, что условия работы такого трубопровода характеризуются повышенными температурами и давлением, проектный срок службы составляет 100 тысяч часов. При этом самым слабым с точки зрения образования дефектов и деградации металла являются места выполнения сварных стыков труб. Присутствующая в сварном шве структурная и химическая неоднородность способствует ускорению процессов усталостного разрушения металла. Срок службы трубопровода значительно сокращается из-за присутствующих в зоне сварного шва малопрочных и хрупких прослоек, наличие которых объясняется металлургической и технологической наследственностью. Длительная эксплуатация паропровода в условиях динамического теплового и силового нагружения вызывает образование и развитие в разупрочнённой прослойке разрушений, таким образом, начальные разрушения металла трубы происходит в зоне металла сварного шва или в зоне термического влияния [10], [18], [38], [44].

Проблема старения металла труб из теплоустойчивых сталей в процессе длительной эксплуатации является очень сложной и требует применения комплексного подхода к оценке состояния металла, который должен учитывать условия эксплуатации, характер внешних воздействий и повреждений [29], [31]. Так как трубы эксплуатируются в очень жёстких условиях, а их наработка составляет 200 тысяч часов при нормативном ресурсе 100 тысяч часов, необходимо проведение работ по продлению срока службы технологического трубопровода и установок с применением технологий ремонта.

Особенностью сварки при строительстве и ремонте конструкций из хромомолибденовой стали является необходимость предварительного и сопутствующего подогрева, а также термической обработки после сварки. В результате сварка затрачивает значительное количество трудовых и энергетических ресурсов, поэтому повышение производительности и качества остаётся актуальным [14], [27].

При построении проектной технологии ремонтной сварки следует рассматривать замену ручной дуговой сварки на более перспективные способы, что и происходит в настоящий момент в мире [5], [23], [24]. Кроме того, применительно к теплоустойчивым сталям следует рассмотреть методы повышения эффективности сварки с применением современных достижений сварочной науки и техники [20].

На основании вышеизложенного следует сделать вывод о высокой актуальности цели выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных процессов при ремонте технологических трубопроводов производственно-отопительных котельных установок.

# **1 Современное состояние ремонтной сварки технологических трубопроводов производственно-отопительных котельных установок**

## **1.1 Особенности конструкции и эксплуатации рассматриваемого технологического трубопровода**

На рисунке 1 представлена тепловая схема котельной установки, работа которой предусматривается в трёх режимах. Первый режим (летний) характеризуется выработкой минимальной энергии, незначительными нагрузками на теплогенерирующее и теплопередающее оборудование. Второй режим (для наиболее холодного месяца зимы) характеризуется длительной работой в условиях нагружения теплогенерирующего и теплопередающего оборудования. Третий режим (максимальный зимний) характеризуется пиковыми нагрузками на теплогенерирующее и теплопередающее оборудование.

Потребителю отпускается насыщенный водяной пар температурой 130...170 °С и горячая вода температурой 70 °С.

Установка включает в себя паровые котлы ДЕ-6,5-14 в количестве пяти штук (обозначены на схеме позицией 1) и водяные экономайзеры в количестве пяти штук (обозначены на схеме позицией 2). В схему включены насосы питательный в количестве двух штук, исходной воды в количестве двух штук и сетевой в количестве трёх штук (обозначены на схеме позициями 4, 5 и 6). Также имеются два подпиточных насоса (обозначены на схеме позицией 7) и два конденсатных насоса (обозначены на схеме позицией 8). Для подготовки воды служит деаэратор (обозначен на схеме позицией 4). В схеме предусмотрено наличие продувочного колодца (обозначен на схеме позицией 9) и пароводяного подогревателя (обозначен на схеме позицией 10). Распределение пара происходит через паровую гребёнку (обозначена на схеме позицией 14).



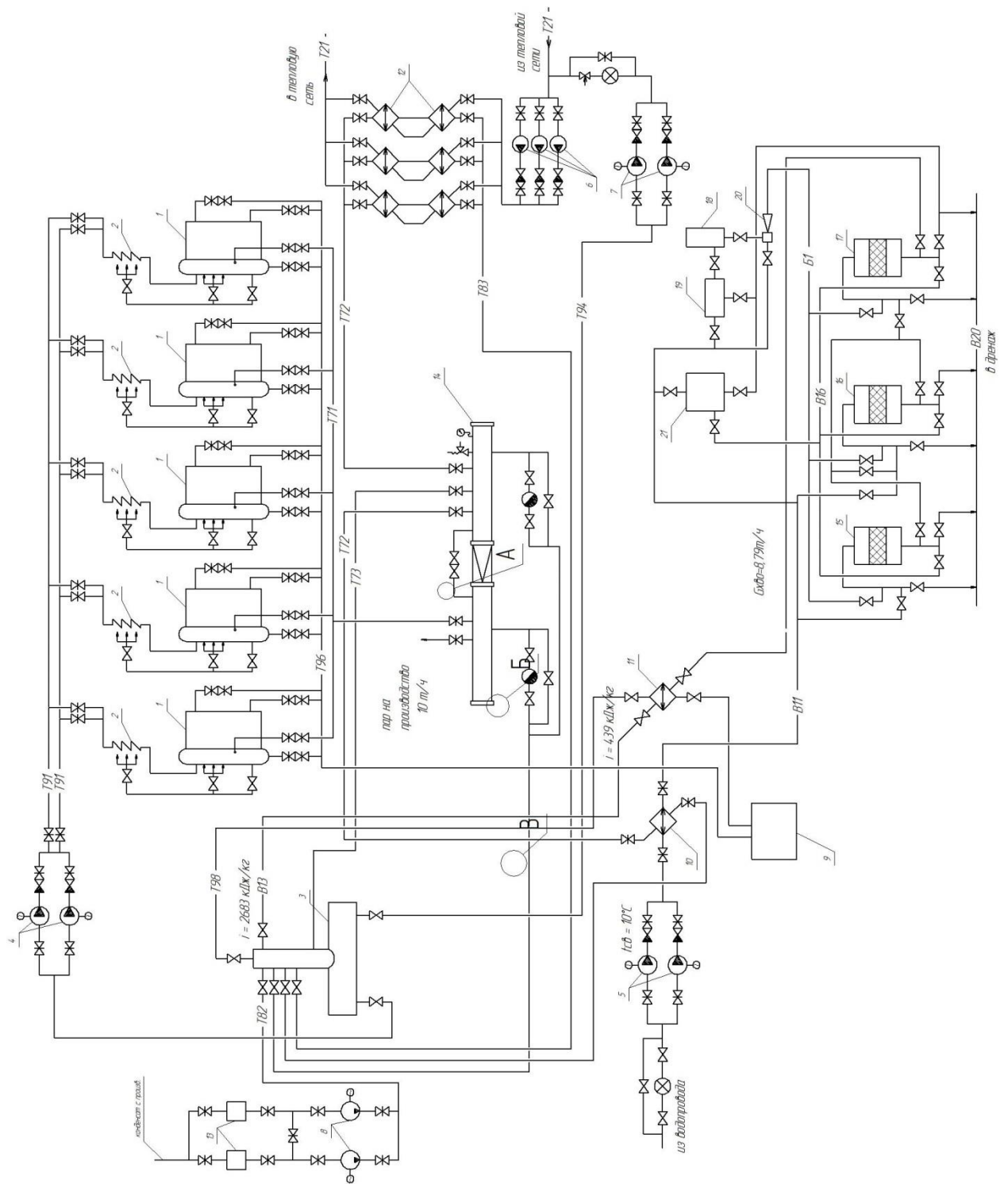


Рисунок 1 – Функциональная схема отопительной установки

Также в схему включены пароводяной подогреватель (обозначен на схеме позицией 10) и охладитель выпара (обозначен на схеме позицией 11). Нагрев поступающей воды осуществляется блочной водоподогревательной установкой (обозначена на схеме позицией 12). Элементами схемы являются конденсатный бак (обозначен на схеме позицией 13), катионные фильтры

первой и второй ступени (обозначены на схеме позициями 15 и 17), буферный фильтр (обозначен на схеме позицией 16). В схеме предусмотрена установка солерастворителя (обозначен на схеме позицией 18), водоструйного эжектора (обозначен на схеме позицией 20) и двух баков (обозначены на схеме позициями 19 и 21).

На рисунке 2 представлены ремонтируемые стыки технологического трубопровода.

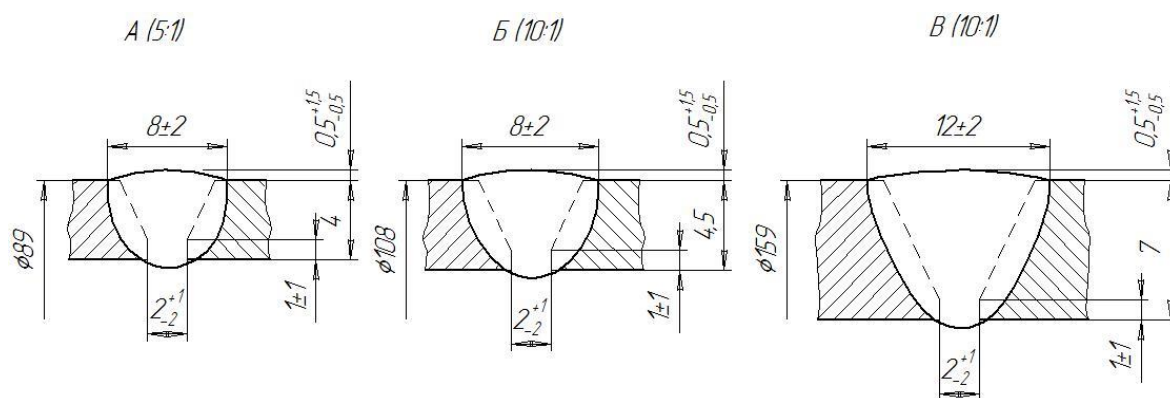


Рисунок 2 – Стыки трубопровода, подлежащие ремонту

На выходе температура насыщенного пара составляет 194 °С при давлении 1,4 МПа. Вырабатываемый пар расходуется на подогрев сетевой воды, подогрев деаэратора, подогрев водоподготавливающей аппаратуры и на подачу в сеть потребителю. Кроме того, предусмотрена потеря пара на утечки через неплотности и из-за выпара.

## 1.2 Сведения о материале технологического трубопровода

Для изготовления технологического трубопровода на рассматриваемом объекте применяются трубы из стали 15ХМ. Содержание химических элементов в этой стали представлено в таблице 1. Эта сталь относится к низколегированным жаропрочным сталям и нашла применение для изделий, которые работают в условиях давления до 10 МПа температуры до 310 °С. В настоящее время сталь 15ХМ вытесняется из производства более перспективной сталью 15Х1М1Ф [14].

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 15ХМ [35], [36]

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
0,11...0,18	0,17...0,37	0,4...0,7	0,8...1,1	0,4...0,55	<0,3	<0,035	<0,035

Легирующими элементами в стали являются хром и молибден. Совместное содержание в стали молибдена и хрома позволяет повысить длительную прочность и сопротивление ползучести. Также молибден при сварке стали образует упрочняющий интерметаллид Fe<sub>2</sub>Mo.

Для расчёта эквивалента углерода в стали 15ХМ применим следующую методику. Суммируем содержание углерода в процентах с эквивалентным содержанием углерода от каждого легирующего компонента. При этом содержание марганца делим на 6, содержание кремния делим на 24, содержание никеля делим на 10, содержание хрома делим на 5, содержание молибдена делим на 4. Таким образом, эквивалентное содержание углерода в стали 15ХМ составляет 0,66 и превышает 0,45 %. Поэтому сварка стали 15ХМ может вызывать образование в ней закалочных структур и образование холодных трещин. Сварка стали 15ХМ требует применения подогрева, температура которого задаётся в зависимости от толщины свариваемого металла.

При сварке стали 15ХМ металл сварного шва по составу и структуре существенно отличается от основного металла. На рисунке 3 микроструктура шва при ручной дуговой сварке стали 15ХМ [14].

При сварке стали 15ХМ приходится устранять сопровождающие трудности, к которым относят [35]: разупрочнение околошовной зоны, охрупчивание и образование холодных трещин.

Для того, чтобы устранить разупрочнение металла околошовной зоны, следует провести высокотемпературную термическую обработку сварного соединения, которая позволяет получить полную перекристаллизацию металла. При этом необходимо применение специальных сварочных материалов с высоким содержанием легирующих элементов и углерода, что повышает отзывчивость металла сварного шва термической обработке.

Для того, чтобы устранить опасность образования холодных трещин, необходимо применять сопутствующий подогрев. Вследствие снижения разности температур металла в зоне сварки уменьшается уровень остаточных напряжений. Также подогрев снижает скорость охлаждения металла, что препятствует превращению аустенита в мартенсит и образованию в стали остаточных напряжений. Ещё одним средством борьбы с образованием холодных трещин является выдержка сварных соединений в течение нескольких часов при температуре 150...200 °С. Также следует учитывать отрицательное влияние водорода, который способствует образованию холодных трещин. При сварке необходимо применять материалы с низким содержанием водорода.

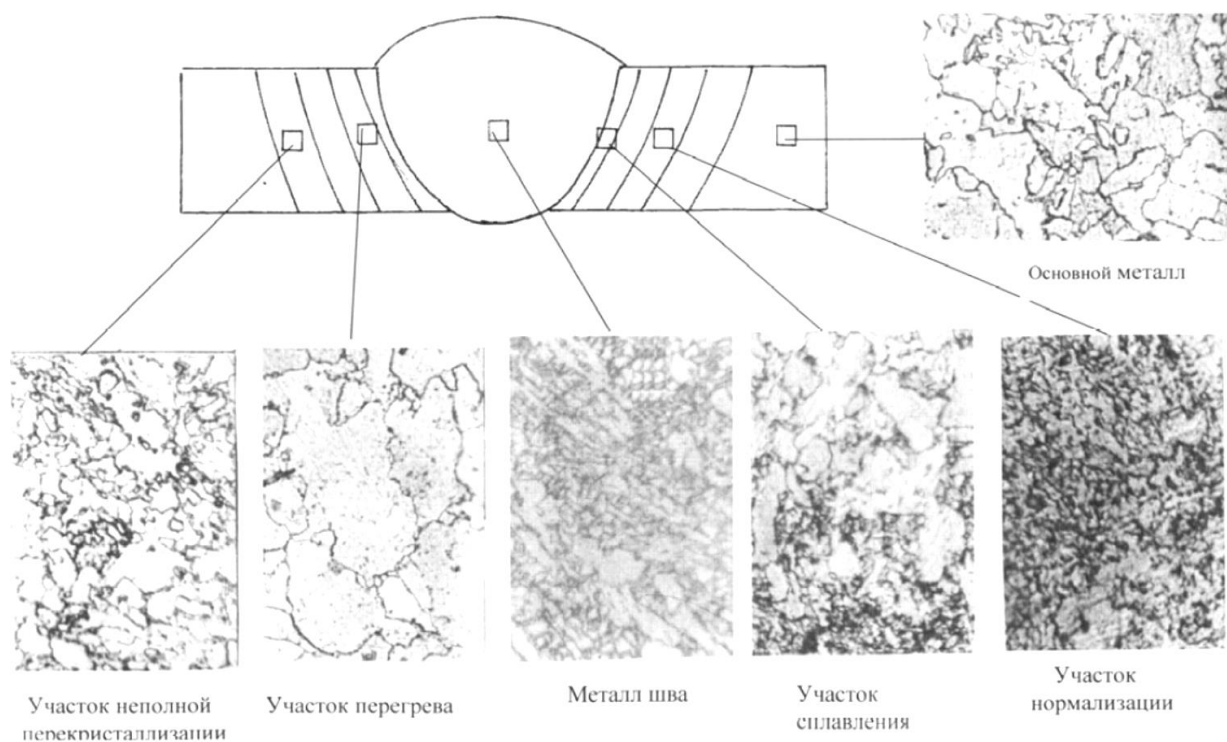


Рисунок 3 – Микроструктура шва при ручной дуговой сварке стали 15ХМ

В настоящее время ведётся интенсивный поиск сварочных материалов и технологий, позволяющих выполнять сварочные работы при строительстве и ремонте конструкций из хромомолибденовых сталей без применения термической обработки.

### 1.3 Дефекты технологического трубопровода

В работе [38] приведена статистика по дефектам технологических трубопроводов, которые были обнаружены в ходе проверок более чем на 600 установках. В качестве причин, вызывающих повреждение технологических трубопроводов тепловых установок, указываются: коррозионное растрескивание, ползучесть металла, изменение химического состава и механических свойств под действием нагрузок. Значительная часть повреждений происходит по причине наличия в сварном шве дефектов, которые не были своевременно обнаружены и проявили себя в процессе эксплуатации трубопровода.

В ходе проверки установлено наличие недопустимых дефектов на трубопроводах 78 % исследуемых объектов. При этом значительная часть объектов отработала нормативный срок службы. Дальнейшая их эксплуатация без проведения постоянного мониторинга технического состояния и своевременного устранения обнаруживаемых дефектов может привести к непоправимым последствиям.

На рисунке 4 представлена статистика по недопустимым дефектам технологических трубопроводов.

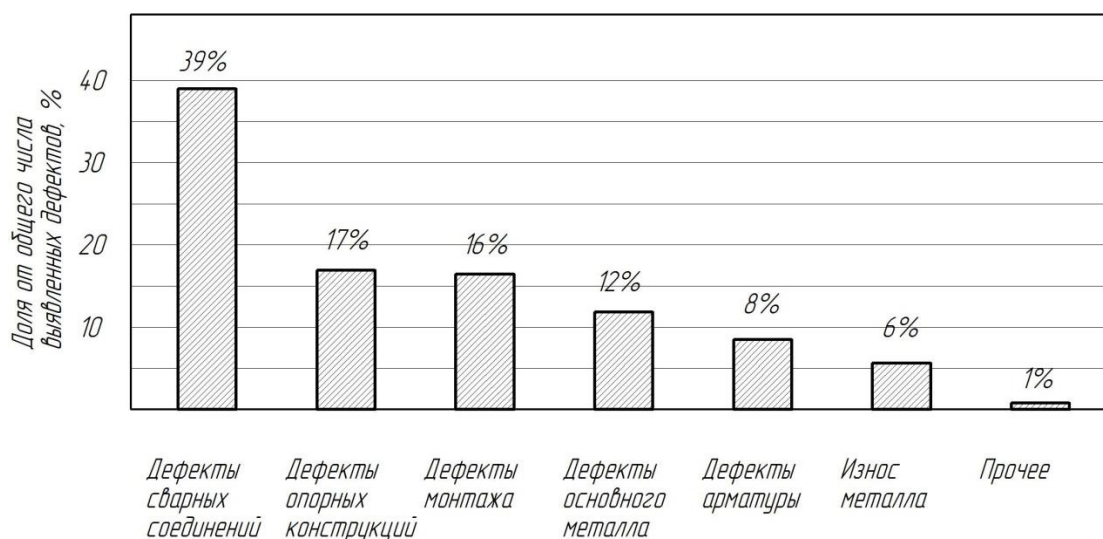


Рисунок 4 – Статистика по недопустимым дефектам технологических трубопроводов [38]

Наиболее часто причиной появления дефекта в сварном шве становится нарушение заданных режимов или техники сварки, что сопровождается получением в сварном соединении раковин, пор, непроваров, свищей и т.д. Такие дефекты играют роль источника нескомпенсированных напряжений и становятся причиной дальнейших разрушений при длительной эксплуатации трубопровода. Среди таких дефектов значительное количество подповерхностных дефектов, к которым относят непровары, поры, внутренние трещины, составляющие до 65 % от обнаруженных недопустимых дефектов трубопроводов. Ещё 14 % дефектов принадлежит нарушению геометрии сварного шва, например, превышение валика.

Сопrotивляемость микроповреждаемости сварных соединений в условиях рабочих напряжений и температур зависит от их исходной структуры, в том числе структурной неоднородности, физических условий эксплуатации и других факторов [11], [15], [37]. Металл участка неполной перекристаллизации претерпевает сварочный нагрев в области температур, ограниченной  $A_{c1} \dots A_{c3}$ . Значения микротвердости металла данного участка могут быть ниже, чем у основного металла, который не претерпевает соответствующий сварочный нагрев [8].

На рисунке 5 представлены типичные повреждения сварных соединений паропроводов. Трещины хладноломкости, представленные на рисунке 5-а, зарождаются вблизи концентраторов напряжений и развиваются по всем зонам сварного соединения. Причиной появления таких трещин является неправильно проведённая термическая обработка и сварка с дефектами в шве. Локальные повреждения при повторном нагреве, представленные на рисунке 5-б, зарождаются с наружной стороны трубы на расстоянии приблизительно 1 мм от линии сплавления. Причиной появления таких трещин является неправильно проведённая термическая обработка сварного соединения. На рисунке 5-в представлена трещина ползучести в ЗТВ, которая возникает в зоне разупрочнения на расстоянии 2...4 мм от линии сплавления. На рисунке 5-г представлена трещина усталости.

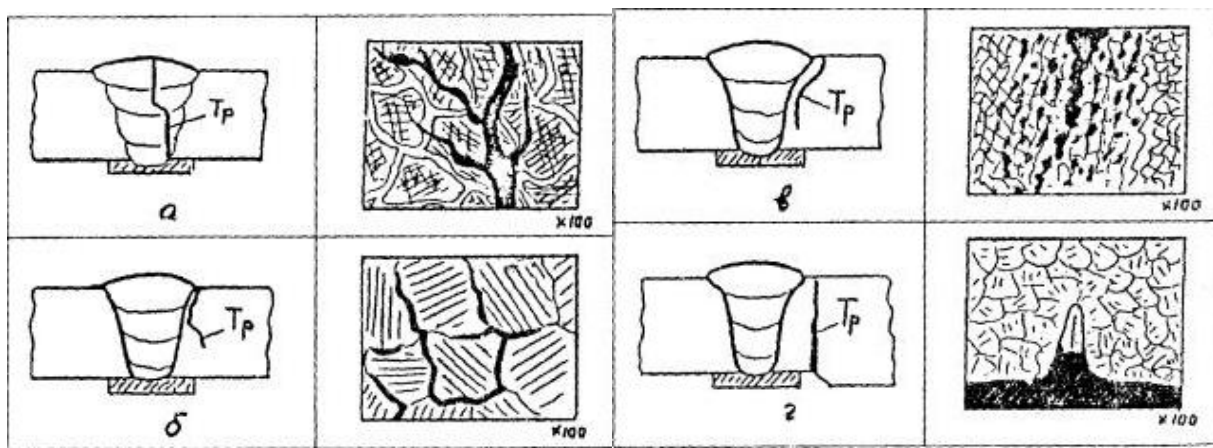


Рисунок 5 – Типовые повреждения сварных соединений паропроводов

При неправильно проведённой ремонтной подварке сварных соединений на паропроводах из хромомолибденовых сталей возможно получение трещин разупрочнения (рисунок 6-а) и поперечной трещины (рисунок 6-б).

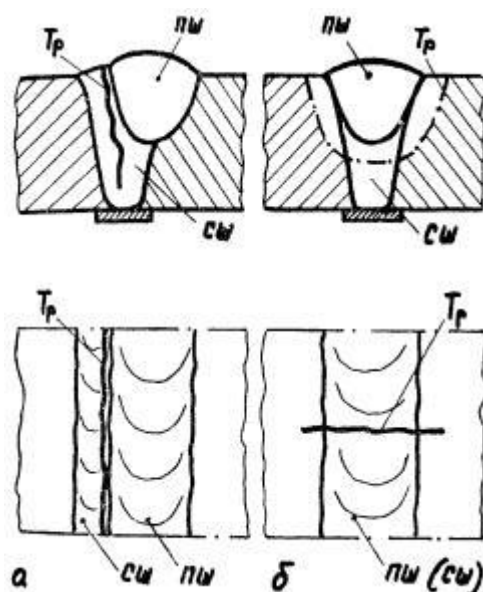


Рисунок 6 – Повреждения сварных соединений при ремонтной подварке

Трещина в зоне разупрочнения сварного шва, представленная на рисунке 6-а, возникает в результате слияния пор ползучести, характер повреждения имеет межкристаллитный характер. Поперечная трещина, представленная на рисунке 6-б, возникает в охрупченном металле и имеет трансграничный характер.

#### 1.4 Описание базовой технологии исправления дефектов на технологическом трубопроводе

Исправление дефектов на паропроводе может быть выполнено выборкой без последующей подварки. Схема такого ремонта представлена на рисунке 7. Такое устранение дефекта возможно при условии, что повреждение получило развитие снаружи сварного шва, а внутренние слои не были затронуты. При этом необходимо, чтобы толщина участка после выборки дефектного места была не меньше, чем минимально допустимая толщина трубы. При удавлении дефектного места применяют механическую выборку (вышлифовку), при этом место выборки должно иметь сглаженный край радиусом не менее 30 мм.

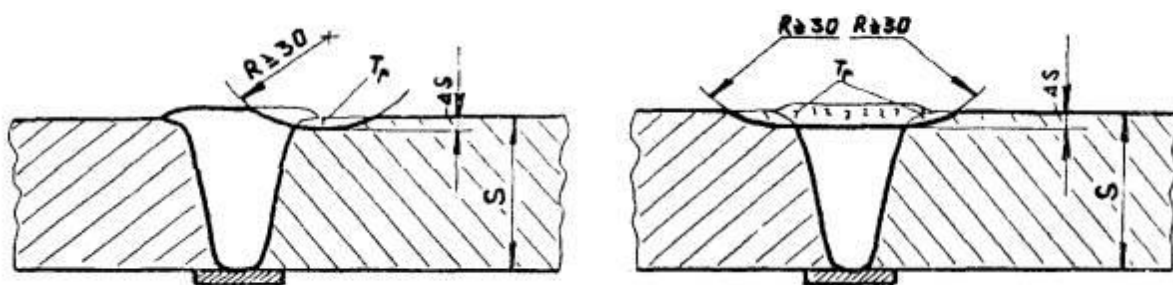


Рисунок 7 – Схема исправления дефекта выборкой без подварки

В случае, если обнаружена трещина, которая развилась с внешней стороны трубы, выполняют выборку, заварку и термическую обработку. Протяжённость выборки не должна превышать  $1/3$  периметра трубы, а толщина оставшегося после выборки металла должна быть не менее 50 % толщины стенки трубы. При таком способе исправления дефекта выполняют удаление металла с применением механических способов (вышлифовкой) и многослойную заварку дефектного места кольцевыми валиками. Схема выполнения такого ремонта представлена на рисунке 8. На рисунке 8-а представлена схема исправления дефекта при несквозной трещине в металле сварного шва. На рисунке 8-б представлена схема исправления дефекта при несквозной трещине в металле ЗТВ. На рисунке 8-в представлена схема исправления дефекта при сквозной трещине в ЗТВ.



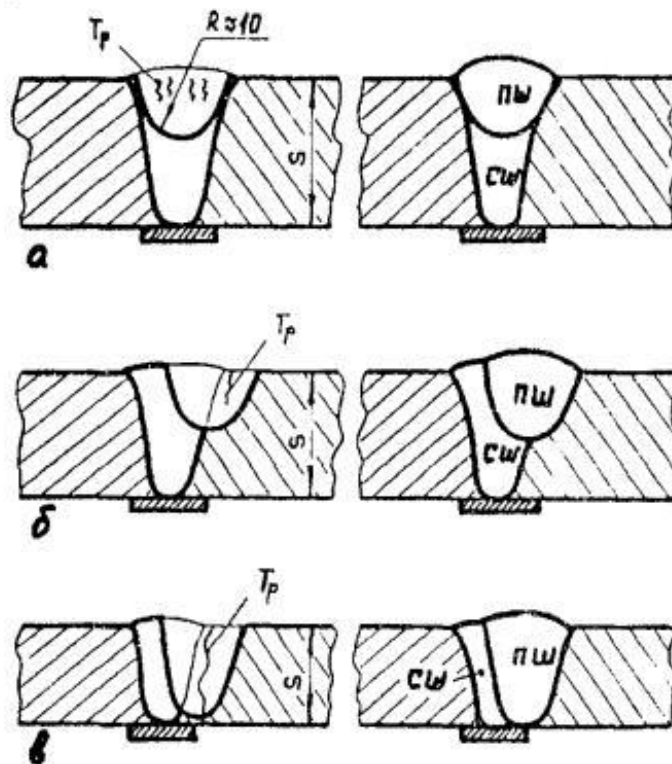


Рисунок 8 – Схема выполнения ремонта сварного соединения с выборкой и последующей заваркой

При исправлении обнаруженного дефекта выполняют следующие действия. Механическим способом удаляют поврежденный металл сварного соединения. При этом используют вырубку или абразивный инструмент. Для удаления дефектного металла может быть применена газовая резка. При этом место выборки следует обработать механическим способом, удалив слой металла толщиной не менее 1 мм. Оборудование для газовой резки представлено на рисунке 9.



Рисунок 9 – Оборудование для газовой резки

При выполнении выборки необходимо обеспечить плавный выход на поверхность трубы, при этом поперечное сечение выборки должно иметь форму чаши. После проведения выборки необходимо проконтролировать зону выборки визуально и с применением капиллярной дефектоскопии, проверить полноту удаления дефекта.

При исправлении трещины следует провести точное определение её концов с применением капиллярного способа или травлением. Далее концы трещины необходимо засверлить с применением сверла диаметром на 2...3 мм больше ширины трещины. Дефектный металл следует удалять полностью. В случае, если трещина сквозная, целесообразно оставить слой металла толщиной 2...3 мм, который будет выполнять роль подкладки нового шва. При этом толщину остающегося металла следует контролировать путём нескольких сквозных засверливаний. При выполнении ремонтной заварки следует первый валик накладывать в месте залегания трещины, выполняя сварку с полным проплавлением. Для этого сварщик визуально контролирует сквозное проплавление, о котором будет свидетельствовать образование перед сварочным электродом сквозного отверстия малого диаметра.

Сварку ведут электродами ТМЛ-1У диаметром 3 мм, которые представлены на рисунке 10. Сварочный ток устанавливается 90...110 А для нижнего положения, 110...130 А для потолочного и вертикального положения. Напряжение на дуге составляет 18...23 В. В качестве источника сварочного тока применяется выпрямитель ВДУ-506, который представлен на рисунке 11.



Рисунок 10 – Сварочные электроды ТМЛ-1У



Рисунок 11 – Сварочный выпрямитель ВДУ-506

На одном участке допускается исправление дефектов не более трёх раз. После сварки необходимо выполнить 100 % визуальный контроль, также следует провести ультразвуковую дефектоскопию или радиографию. При этом контролируемая зона должна включать место ремонтной сварки и дополнительный участок на ширину 20 мм в сторону сварного шва и ширину 10 мм в сторону основного металла. Для ультразвукового контроля применяется система ультразвукового контроля АВГУР-ТФ, представленная на рисунке 12.



Рисунок 12 – Система ультразвукового контроля АВГУР-ТФ

Поскольку толщина стенки трубы меньше 20 мм и диаметр меньше 219 мм, при ремонтной сварке предварительного и сопутствующего подогрева не применяется. Также не требуется применения термической обработки соединения.

## 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей работе преследуется цель – повышение эффективности сварочных процессов при ремонте технологических трубопроводов производственно-отопительных котельных установок.

Базовая технология с применением ручной дуговой сварки приводит к возникновению значительного количества дефектов, исправление которых приводит к дополнительному снижению производительности. Кроме того, возникающие при сварке дефекты становятся очагами зарождения трещин при эксплуатации технологического трубопровода.

Анализ базовой технологии позволяет установить множественные недостатки, устранение которых, позволит повысить производительность и качество выполнения сварочных работ.

Таким образом, могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки на основании анализа преимуществ и недостатков альтернативных способов.

Второй задачей является устранение выявленных недостатков сварки предлагаемого способа сварки и повышение его эффективности применительно к рассматриваемому случаю сварки. работ.

Третьей задачей является построение проектного технологического процесса ремонтной сварки.

Четвёртой задачей является анализ предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений на предмет экологической безопасности и обеспечения безопасности труда [3], [6].

Пятой задачей является оценка экономической эффективности внедрения проектной технологии в производство, что позволит сделать вывод о достижении поставленной цели [21], [22].

## **2 Разработка проектной технологии ремонтной сварки технологического трубопровода**

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

При строительстве и ремонте конструкций из стали 15ХМ могут применяться все конструктивно обоснованные способы сварки, так как сталь является низколегированной и содержит незначительное количество элементов с высоким сродством кислороду. Применение сварки под флюсом на рассматриваемом трубопроводе признано нерациональным из-за осыпания флюса.

Применительно к рассматриваемому изделию следует обратить внимание на следующие способы сварки:

- «ручная дуговая сварка,
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах,
- механизированная сварка порошковой самозащитной проволокой;
- сварка неплавящимся электродом в инертных газах» [25], [26].

Самым универсальным способом следует признать ручную дуговую сварку с применением электродов специального назначения. Этот способ сварки продолжает играть существенную роль при выполнении конструкций различного назначения. Широкое применение ручной дуговой сварки объясняется высокой универсальностью способа и гибкостью технологического процесса. За счёт применения электродов со специальным покрытием [28] можно повысить текучесть шлака и улучшить формирование корневого слоя шва. Также повышение эффективности ручной дуговой сварки возможно за счёт применения специальной техники сварки [4] и импульсного управления дугой [13].

Следует отметить значительное количество недостатков, которые присущи ручной дуговой сварке и заставляют повсеместно заменять её

другими, более перспективными способами. Первым недостатком является малая производительность ручной дуговой сварки, которая не может быть повышена за счёт форсирования режимов или применения новых сварочных электродов. Вторым недостатком является вредность условий труда сварщика, которому приходится работать в атмосфере сварочного аэрозоля и излучения от дуги. Третьим недостатком следует указать увеличение расхода сварочных материалов из-за затрат на огарки, кроме того, необходимость прерывания горения дуги при смене электрода приводит к снижению производительности и качества сварки. Четвёртым недостатком является малая стабильность качества сварки, имеющая прямую зависимость от квалификации сварщика.

Существенное повышение производительности и качества по сравнению с ручной дуговой сваркой достигается при использовании механизированной сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Недостатками сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения следует признать интенсивное разбрызгивание, которое ограничивает величину сварочного тока и не позволяет применять форсированные режимы сварки. Также повышенная вязкость расплавленного металла может стать причиной образования горячих трещин.

Расширение технологических возможностей механизированной сварки в защитных газах достигается применением дополнительной присадочной проволоки, что позволяет уменьшить зону термического влияния при сварке теплоустойчивых сталей [19]. Добавление аргона в защитную смесь позволяет повысить качество при сварке хромомолибденовых сталей [26]. Также успешно применяется импульсное управление сварочной дугой [30].

Сварка порошковыми проволоками может быть выполнена с использованием того же оборудования, что и сварка проволокой сплошного сечения. При этом удаётся реализовать преимущества сварки порошковыми проволоками. При сварке порошковыми проволоками удаётся получить

сочетание положительных качеств ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах [32], [39].

Главным недостатком сварки самозащитной проволокой является неравномерность плавления оболочки проволоки и порошкового наполнителя, что вызывает осыпание нерасплавленного флюса в сварочную ванну, образование пор и шлаковых включений. Кроме того, при сварке порошковой проволокой наблюдается повышенная текучесть расплавленного металла, из-за чего усложняется формирование корневого слоя шва. Также порошковая проволока из-за своей мягкости застревает в подающем механизме.

Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом может быть применена для выполнения сварных соединений их хромомолибденовых сталей. Этот способ сварки позволяет получить высокую стабильность качества. Сварка неплавящимся электродом характеризуется условиями труда, намного лучшими, чем ручная дуговая сварка и сварка порошковой проволокой. Также при аргонодуговой сварке обеспечивается хорошее формирование корневого слоя шва и малая зона термического влияния.

В числе недостатков аргонодуговой сварки неплавящимся электродом следует указать высокую стоимость защитного газа, в качестве которого применяется аргон или ещё более дорогой гелий. Также требуется высокая квалификация сварщика, стоимость оборудования намного выше, чем для других рассмотренных способов сварки, а производительность ниже.

На основании вышеизложенного для построения проектной технологии ремонтной сварки технологического трубопровода отопительной установки предлагается использовать механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Для повышения технологических свойств сварки проволоками сплошного сечения в защитных газах следует рассмотреть разработки отечественных и зарубежных исследователей-сварщиков в области импульсного управления сварочной дугой [20], [40], [41].

## 2.2 Повышение эффективности механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения

На технологические возможности механизированной сварки в защитных газах существенное влияние оказывает характер плавления и переноса электродного металла. Согласно работе [16] особенности переноса электродного металла определяются условиями сварки (производственные условия и возмущения) и регулируемыми факторами (состав защитного газа, состав электродной проволоки, особенности работы источника питания сварочной дуги, особенности подачи сварочной проволоки), что схематично показано на рисунке 13. Таким образом, корректируя перечисленные изменяемые факторы, возможно расширить технологические возможности сварки.

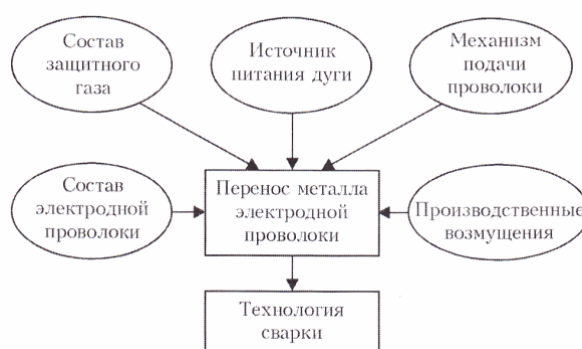


Рисунок 13 – Основные воздействия, влияющие на характер переноса электродного металла и стабильность горения сварочной дуги [16]

Исходя из этого направлениями дальнейших исследований являются:

- поиск оптимального состава электродной проволоки;
- поиск оптимального состава защитного газа;
- разработка новых источников питания с импульсным управлением;
- разработка новых механизмов подачи проволоки.

При правильном выборе сварочной проволоки обеспечивается благоприятный химический состав металла сварного шва и эксплуатационные свойства соединений. При выборе сварочной проволоки необходимо принимать во внимание условия эксплуатации рассматриваемой



конструкции, которые характеризуются повышенными температурами и давлением рабочей среды, также знакопеременное нагружение вследствие теплового расширения металла паропровода и возможные ударные нагрузки при пуске и аварийной остановке работы паропровода. Также следует принимать во внимание химический состав основного металла труб.

В работах [9], [19], [25] показана высокая эффективность применения проволоки Св-08ХМФА при сварке теплоустойчивых перлитных сталей. В состав проволоки входит углерод в количестве 0,06...0,1 %. В качестве легирующих компонентов выступают хром, взятый в количестве 0,9...1,2 %, молибден, взятый в количестве 0,5...0,7 % и ванадий в количестве 0,15...0,3 %. Помимо этих элементов в проволоке присутствуют кремний в количестве 0,12...0,3 % и марганец в количестве 0,35...0,6 %. Типовой химический состав проволоки Св-08ХМФА представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав, % электродной и присадочной проволок марки Св-08ХМФА [19]

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	S	P
0,09	0,20	0,45	1,0	0,15	0,60	0,25	0,020	0,020

Разработке питания, расширяющих технологические возможности сварки, посвятили свои работы исследователи Князьков А. Ф., Потапьевский А. Г., Патон Б. Е., Заруба И. И., Дюргеров Н. Г., Дудко Д. А., Сараев Ю. Н. и другие отечественные и зарубежные исследователи-сварщики.

На рисунке 14 представлена структура сварных соединений, полученных при механизированной сваркой в защитных газах стационарной дугой. На рисунке 15 представлена структура сварных соединений, полученных при импульсной дуговой сварке. Показана зона сварного шва (рисунки 14-а и 15-а), зона сплавления (рисунки 14-б и 15-б), зона термического влияния (рисунки 14-в и 15-в), основной металл (рисунки 14-г и 15-г).

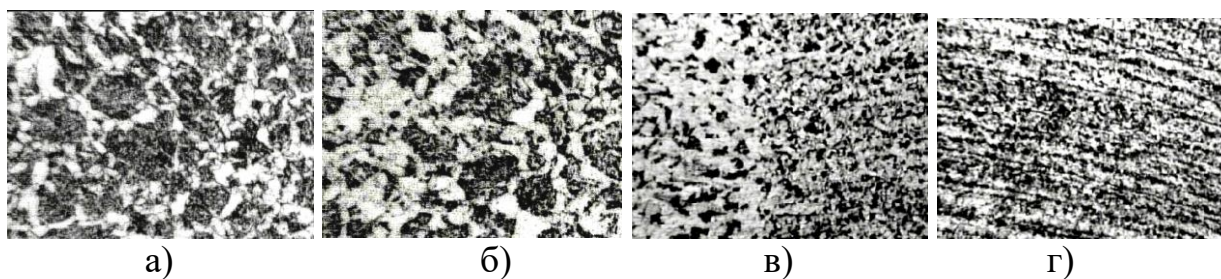


Рисунок 14 – Структура сварного соединения после стационарного режима сварки

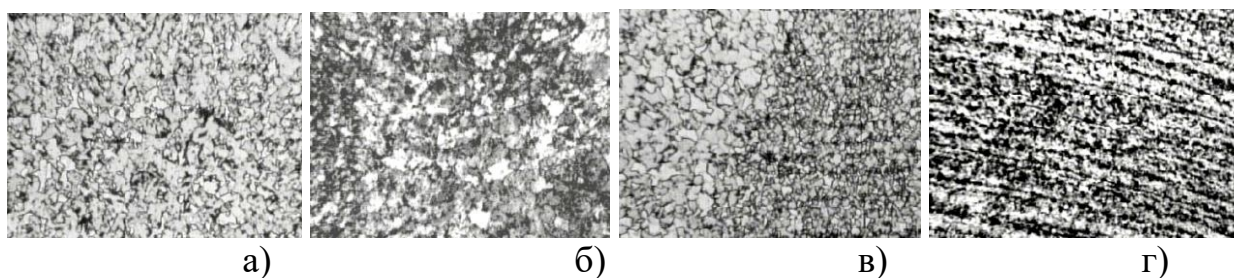


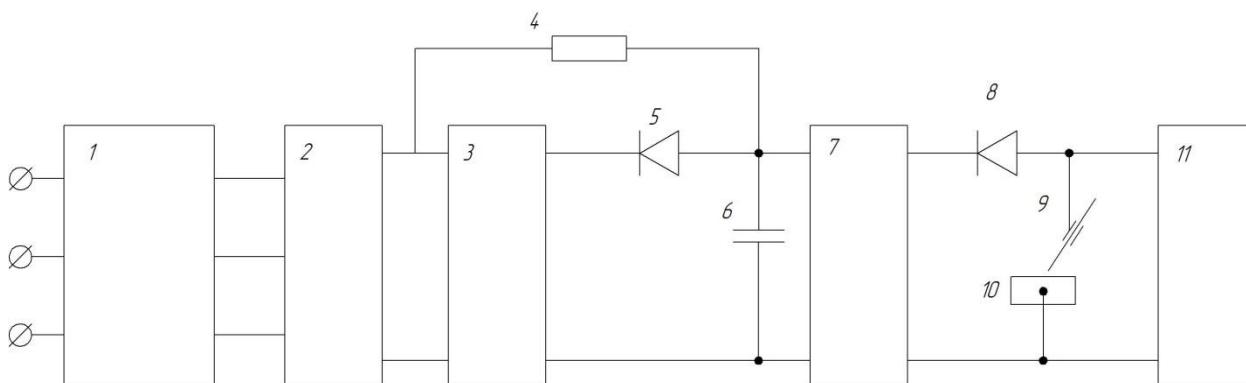
Рисунок 15 – Структура сварного соединения после импульсного режима сварки

Применение импульсных источников питания сварочной дуги позволяет реализовать преимущества сварки в защитных газах и уменьшить её недостатки [42], [43]:

- происходит существенное уменьшение потерь металла на угар и разбрызгивание, кроме того, устранение разбрызгивания позволяет существенно улучшить качество сварки, улучшить внешний вид изделий и повысить производительность;
- при сварке в различных положениях повышается стабильность горения дуги и качество выполнения сварных швов;
- существенно повышается качество сварных швов в узкую разделку и при выполнении корневого слоя шва, улучшается проплавливающая способность дуги;
- протекание металлургических процессов при кристаллизации сварного шва носит более благоприятный характер, что повышает эксплуатационные свойства сварных соединений.

Для импульсного управления сварочной дугой предлагается использовать разработку отечественных исследователей-сварщиков [38].

Функциональная схема устройства представлена на рисунке 16 и построена на базе сварочного трансформатора (обозначен на схеме позицией 1), который подключен к линии трёхфазного напряжения. Вторичная обмотка трансформатора подключена в выпрямитель (обозначен на схеме позицией 2). Выходная линия выпрямителя 2 подключена к импульсному стабилизатору тока (обозначен на схеме позицией 3). Стабилизатор тока соединён с модулятором (обозначен на схеме позицией 7) через резистор, диод и конденсатор (обозначены на схеме позициями 4, 5 и 6). Выходы 9 и 10 соединены с модулятором 7 через диод (обозначен на схеме позицией 8). Параллельно с модулятором 7 подключен блок дежурной дуги (обозначен на схеме позицией 11).



«1 - трансформатор, 2 - выпрямитель, 3 - импульсный стабилизатор тока, 4 - резистор, 5 - диод, 6 - конденсатор, 7 - модулятор, 8 - диод, 9 - горелка, 10 - изделие, 11 - блок дежурной дуги» [1]

Рисунок 16 – Устройство импульсной сварки

На рисунке 17 представлены осциллограммы тока и напряжения при импульсной сварке. Уменьшение силы сварочного тока происходит в момент времени  $t_1$  и в течение промежутка  $t_1-t_2$  капля расплавленного металла занимает соосное с электродом положение. В момент времени  $t_2$  происходит короткое замыкание, в течение промежутка  $t_2-t_3$  капля начинает перетекать в сварочную ванну. В течение промежутка  $t_3-t_4$  подаётся импульс, ускоряющий переход капли в сварочную ванну. С момента  $t_5$  начинается рост новой капли.

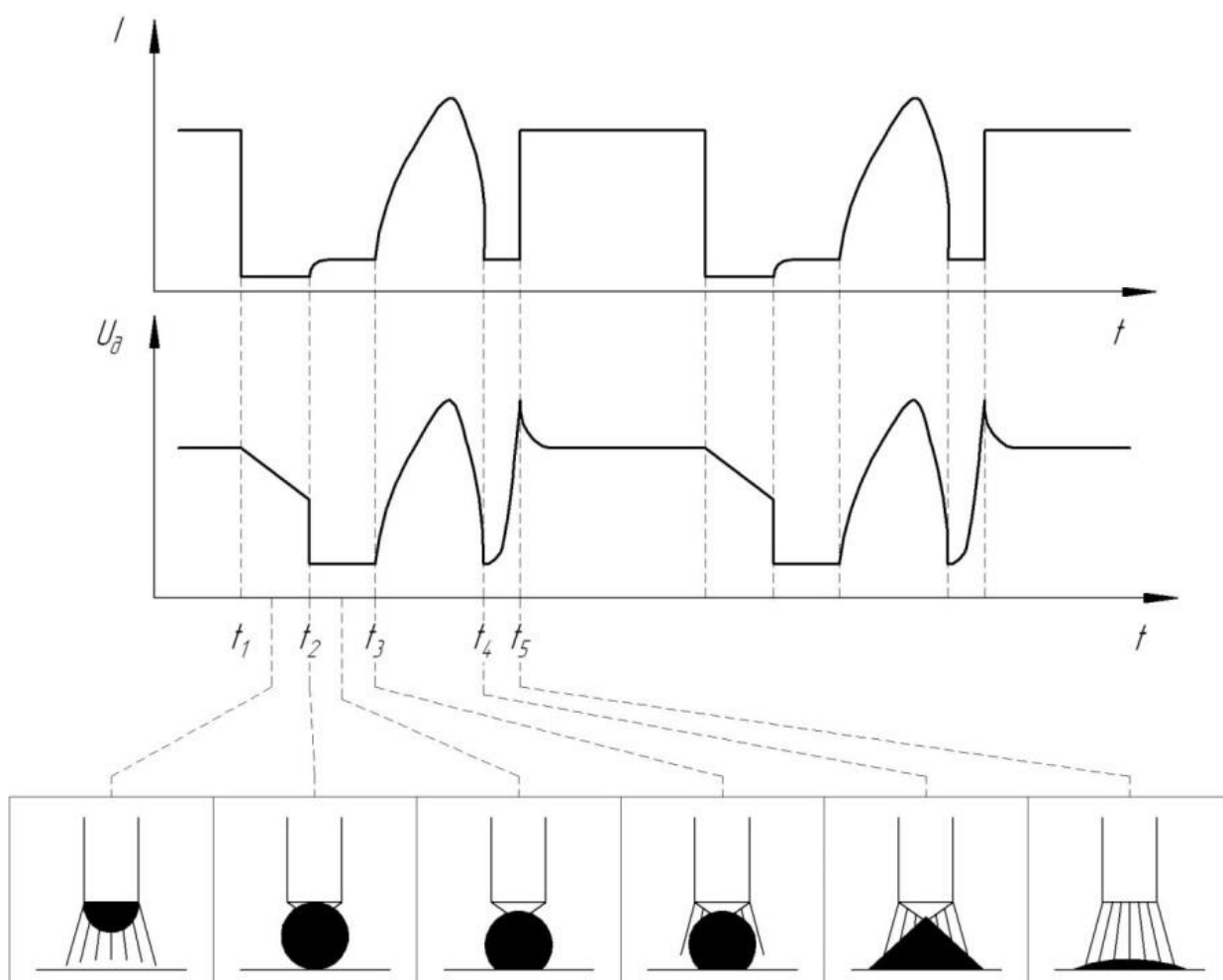


Рисунок 17 – Осциллограммы тока и напряжения при импульсной сварке

Предлагаемый способ позволяет существенно повысить пространственную стабильность сварочной дуги, устранить разбрызгивание и улучшить внешний вид сварных швов. Кроме того, за счёт импульсного характера вложения тепла в сварное соединение обеспечивается благоприятное протекание металлургических процессов и повышение качества сварного соединения.

Для сварки конструкций из теплоустойчивых сталей в качестве защитного газа может быть применён как чистый углекислый газ, так и его смесь с аргоном. При этом в составе газовой смеси может быть до 25 % аргона. На основании работ [12] и [19] в качестве защитного газа применим смесь из углекислого газа и аргона в соотношении 75 % + 25 %.

### 2.3 Описание операций технологического процесса ремонтной сварки технологического трубопровода

Перед началом выборки следует просушить поверхность ремонтируемого участка газовым пламенем до температуры 50...70 °С на расстоянии не менее 100 мм от границ предполагаемой выборки.

При исправлении обнаруженного дефекта выполняют следующие действия. Механическим способом удаляют поврежденный металл сварного соединения. При этом используют вырубку или абразивный инструмент. В отличие от базовой технологии, разделку дефекта выполняем с применением плазменной резки. Для этого предлагается применить аппарат Cutmaster 60i ESAB, который представлен на рисунке 18.



Рисунок 18 – Аппарат Cutmaster 60i ESAB для воздушно-плазменной резки

Параметры резки: скорость реза 1000 мм в минуту, расход сжатого воздуха 190 литров в минуту, давление сжатого воздуха 6...8 атм. При этом место выборки следует обработать механическим способом, удалив слой металла толщиной не менее 1 мм. Применение воздушно-плазменной резки позволяет повысить производительность и качество разделки дефекта под ремонтную сварку.

При выполнении выборки необходимо обеспечить плавный выход на поверхность трубы, при этом поперечное сечение выборки должно иметь форму чаши. После проведения выборки необходимо проконтролировать зону выборки визуально и с применением капиллярной дефектоскопии, проверить полноту удаления дефекта.

При исправлении трещины следует провести точное определение её концов с применением капиллярного способа или травлением. Далее концы трещины необходимо засверлить с применением сверла диаметром на 2...3 мм больше ширины трещины. Дефектный металл следует удалять полностью. В случае, если трещина сквозная, целесообразно оставить слой металла толщиной 2...3 мм, который будет выполнять роль подкладки нового шва. При этом толщину остающегося металла следует контролировать путём нескольких сквозных засверливаний.

Для сверления применяется станок на магнитной плите МВА-35, который представлен на рисунке 19.



Рисунок 19 – Сверлильный станок на магнитной плите МВА-35

При выполнении ремонтной заварки следует первый валик накладывать в месте залегания трещины, выполняя сварку с полным проплавлением. Для этого сварщик визуально контролирует сквозное

проплавление, о котором будет свидетельствовать образование перед сварочным электродом сквозного отверстия малого диаметра.

Для питания сварочной дуги применяется простейший сварочный трансформатор ТДМ-501, который оснащён ранее описанным формирователем импульсов согласно [1]. Внешний вид трансформатора ТДМ-501 представлен на рисунке 20.



Рисунок 20 – Сварочный трансформатор ТДМ-501

Для подачи проволоки применяется полуавтомат закрытого типа КП 010-3, представленный на рисунке 21.



Рисунок 21 – Полуавтомат закрытого типа КП 010-3

Сварку ведут на постоянном токе прямой полярности. В качестве проволоки применяется Св-08ХМФА диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа применяется смесь углекислого газа 75 % + аргона 25 %. Расход газа составляет 900...120 литров в час. Величину сварочного тока устанавливают в зависимости от пространственного положения дефекта.



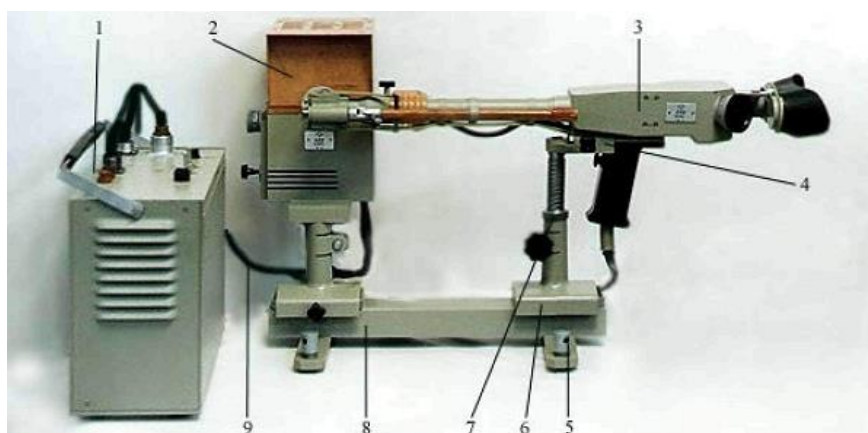
Нижнее – 140...180 А, вертикальное и потолочное – 120...140 А, горизонтальное – 180...200 А.

При заварке сквозной выборки проводят сварку корневого слоя шва обратно-ступенчатым способом по всей длине выборки. Заполняющие и облицовочный слои шва выполняют по всей длине выборки за один проход. Сварку следует вести без перерывов одним сварщиком. Выполняют пооперационный контроль качества каждого слоя.

Допускается не более трёх ремонтных сварок на одном участке. За участок принимается условный прямоугольник, в который вписывается выборка и прилегающая поверхность трубы на трехкратную ширину этого прямоугольника.

После сварки необходимо выполнить 100 % визуальный контроль, также следует провести ультразвуковую дефектоскопию или радиографию. При этом контролируемая зона должна включать место ремонтной сварки и дополнительный участок на ширину 20 мм в сторону сварного шва и ширину 10 мм в сторону основного металла.

Для стилоскопирования применяется стилоскоп СЛУ-1, представленный на рисунке 22. Проверяется наличие хрома и молибдена.



1 — блок питания; 2 — источник света; 3 — стилоскоп; 4 — крепежное устройство; 5 — подставка; 6 — подставка; 7 — выдвижной винт; 8 — рельс; 9 — кабель

Рисунок 22 – Стилоскоп СЛУ-1

Для проверки твёрдости применяется твердомер ТЭМП-3, представленный на рисунке 23. Твёрдость проверяют на трёх разнесённых



участках сварного шва, при этом поверхность участка должна быть зачищена до металлического блеска. Твёрдость при измерениях должна находиться в диапазоне 135...230 НВ. При превышении твёрдости указанных значений необходимо выполнить термическую обработку сварного соединения.



Рисунок 23 – Твердомер ТЭМП-3

Для ультразвукового контроля применяется система ультразвукового контроля АВГУР-ТФ, представленная на рисунке 12.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда [3], [6].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [21], [22].

### **3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений**

#### **3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта**

В ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы решались вопросы, связанные с повышением эффективности сварочных технологии при выполнении ремонта технологических трубопроводов на установках. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой. Для повышения эффективности сварки предложено внедрить разработки отечественных исследователей.

Проектная технология может быть условно разделена на шесть операций и представлена в таблице 3. Первая операция – проведение входного контроля. Для её выполнения применяются набор визуально-измерительного контроля и дефектоскоп. Вторая операция – подготовка дефектного места. Для её выполнения применяется угловая шлифовальная машина и оборудование для газовой резки. Третья операция – предварительный подогрев. Для её выполнения применяются сварочный трансформатор и пояса для индукционного нагрева. Четвёртая операция – сварка. Для её выполнения применяется источник питания, формирователь сварочных импульсов, механизм подачи сварочной проволоки и оборудование для подачи защитного газа. Пятая операция – термическая обработка. Для её выполнения применяются сварочный трансформатор и пояса для индукционного нагрева. Шестая операция – контроль качества. Для её выполнения применяется набор визуально-измерительного контроля, дефектоскоп и твердомер.

Таблица 3 – Технологический паспорт технического объекта

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования	Применяемые материалы и вещества
1. Контроль качества	дефектоскопист	- набор визуально-измерительного контроля, - дефектоскоп	-
2. Подготовка дефектного места	слесарь-сборщик	- угловая шлифовальная машина, - оборудование для газовой резки	круг абразивный
3. Предварительный подогрев	термист	- сварочный трансформатор - пояса для индукционного нагрева	-
4. Сварка	электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- источник питания, - формирователь сварочных импульсов, - механизм подачи сварочной проволоки, - оборудование для подачи защитного газа - зачистная машинка	круг абразивный
5. Термическая обработка	термист	- сварочный трансформатор - пояса для индукционного нагрева	-
6. Контроль качества	дефектоскопист	- набор визуально-измерительного контроля, - дефектоскоп, - твердомер	-

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений повлекло за собой изменение технологического процесса сборки и сварки. В свою очередь это может привести к возникновению новых опасных производственных факторов. Защита от этих факторов должна быть выполнена в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

### 3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

При проведении операций технологического процесса, который был разработан в ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы, возникают профессиональные и производственные риски, источником которых являются опасные и вредные факторы. Наличие этих факторов обусловлено особенностями выполнения каждой операции технологического процесса, которые были рассмотрены выше. В таблице 4 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков.

Таблица 4 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
1. Контроль качества, 6. Контроль качества	- 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
2. Подготовка дефектного места	- 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
3. Предварительный подогрев, 5. Термическая обработка	- 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
4. Сварка	- 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

В ходе оценки выделено семь негативных производственных факторов:

- 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,
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений.

Источником возникновения негативных производственных факторов является применяемое на участке технологическое оборудование: шлифовальная машина, набор для проведения предварительного подогрева, источник питания сварочной дуги, устройство формирования сварочных импульсов, механизм подачи сварочной проволоки, механизм подготовки смечи защитного газа, оборудование для проведения контроля качества сварки.

Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании ранее представленных в таблице 6 данных.

При этом следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии.

Дальнейшие работы в этом направлении предусматривают обоснование выбора стандартных методик и технических средств. В крайнем случае, необходимо будет предусмотреть разработку специализированных методик.

### 3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков

Ранее выполненная идентификация профессиональных рисков, представленная в таблице 8, позволяет выработать решения по обеспечению безопасности производственного процесса, которые представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса	Перечень организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих устранение вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски

Следует отметить, что для обеспечения защиты персонала от возникающих негативных производственных факторов не требует разработки специальных методик и технических средств. Представленные в таблице 9 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала при выполнении проектного технологического процесса.

### **3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта**

Следует принимать во внимание, что сварочные работы в рамках настоящей выпускной квалификационной работы проводятся на опасном технологическом объекте. При выполнении операций предлагаемого проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов существует опасность возникновения пожара. В первую очередь это связано с тем, что сварочные и наплавочные работы являются источником высокой температуры и излучения. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 6.

Таблица 6 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется ремонтная сварка
Наименование оборудования	шлифовальная машина, набор для проведения предварительного подогрева, источник питания сварочной дуги, механизм подготовки смеси защитного газа
Классификация по виду горящего вещества	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения

На основании данных таблицы 6 возможный пожар, который может произойти на рассматриваемом производственном участке, относится к классу «Е», который предполагает горение материалов и веществ при наличии опасного напряжения.

Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха, открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе.

Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к которым относят нарушение целостности изоляции и порчу электрического оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами.

В таблице 7 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 7 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели



Пожарная безопасность рассматриваемого производственного участка обеспечивается а счёт применения различных технических средств. В качестве первичных средств тушения применяются: огнетушители, ящик с песком, кошма. В качестве средств индивидуальной защиты применяется план эвакуации. В качестве пожарного инструмента применяется топор, багор и лопата. В качестве средств оповещения применяются речевые, световые и звуковые оповещатели.

### 3.5 Защита окружающей среды

Следует принимать во внимание необходимость взятых на себя Российской Федерацией обязательств по обеспечению защиты окружающей среды. Поэтому в рамках выполнения настоящей выпускной квалификационной работы необходимо следовать международной экологической повестке. Реализация предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений приводит к возникновению негативного антропогенного действия на окружающую среду. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы. В таблице 8 приведены негативные воздействия на окружающую среду, которые возникают при выполнении операций проектного технологического процесса.

Таблица 8 – Идентификация негативных экологических факторов

Операция	атмосфера	гидросфера	литосфера
1. Контроль качества, 6. Контроль качества	-	-	частицы упаковки, бытовой мусор
2. Подготовка дефектного места	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
3. Предварительный подогрев, 5. Термическая обработка	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
4. Сварка	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор

На основании анализа данных в таблице 8 могут быть предложены технические средства и организационные мероприятия, применение которых позволит устранить влияние на окружающую среду негативного антропогенного фактора или уменьшить его влияние до приемлемого уровня. Предлагаемые средства для этого представлены в таблице 9 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств.

Таблица 9 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
За счёт чего снижается антропогенное действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [3]
За счёт чего снижается антропогенное действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [3]
За счёт чего снижается антропогенное действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [3]

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

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

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

### **4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении ремонтных работ на технологических трубопроводах. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой. Для повышения эффективности сварки предложено внедрить разработки отечественных исследователей. Проектная технология может быть условно разделена на шесть операций. Первая операция – проведение входного контроля. Для её выполнения применяются набор визуально-измерительного контроля и дефектоскоп. Вторая операция – подготовка дефектного места. Для её выполнения применяется угловая шлифовальная машина и оборудование для газовой резки. Третья операция – предварительный подогрев. Для её выполнения применяются сварочный трансформатор и пояса для индукционного нагрева. Четвёртая операция – сварка. Для её выполнения применяется источник питания, формирователь сварочных импульсов, механизм подачи сварочной проволоки и оборудование для подачи защитного газа. Пятая операция – термическая обработка. Для её выполнения применяется сварочный трансформатор и пояса для индукционного нагрева. Шестая операция – контроль качества. Для её выполнения применяется набор визуально-измерительного контроля, дефектоскоп и твердомер. В таблице 10 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов.

Таблица 10 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	IV	IV
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	250	250
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	$C_{об}$	руб.	250 тыс.	400 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	$C_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
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	$S$	$m^2$	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$C_{пл}$	Р/ $m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [21]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие расчёты с использованием представленных выше данных предполагают оценку затрат на осуществление технологического процесса по проектному и базовому вариантам.

## 4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

При выполнении операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса происходит работа оборудования в течение заданного времени. Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. Также следует принимать во внимание, что время работы оборудования позволяет рассчитать амортизационные отчисления и затраты на производственные площади. В проектом технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

Количество рабочих дней для одного года принимаем равным  $D_p=277$ , при этом продолжительность рабочей смены составляет  $T_{см}=8$  часов. Также следует принимать во внимание уменьшение рабочей смены на величину  $T_{п}=1$  час в предпраздничные дни, количество которых для одного календарного года составляет  $D_{п}=7$  дней. Для количества рабочих смен  $K_{см}=2$  рассчитываем годовой фонд времени:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$  часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени  $V=7\%$ :

$$F_3 = F_H(1 - V/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$  часов.

### 4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии

Величину штучного времени, которое будет затрачиваться на выполнение операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса, рассчитываем с учётом нормирования труда по выполняемым операциям согласно технологической карте. Штучное время  $t_{шт}$  включает в себя затраты времени на выполнение основных операций проектного и базового технологического процессов (машинное время  $t_{маш}$ ), подготовительных и вспомогательных операций (вспомогательное время  $t_{всп}$ ), личный отдых (время отдыха  $t_{отд}$ ), подготовительно-заключительное время  $t_{п-з}$  и времени на мелкий ремонт и обслуживание оборудования (время обслуживания  $t_{обсл}$ ):

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $t_{шт.баз} = 1,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2$  часа и  $t_{шт.проектн.} = 1,1 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,4$  часа.

Размер годовой программы  $\Pi_r$  рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

$$\Pi_r = F_{\text{в}} / t_{шт} . \quad (4)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $\Pi_{г.баз.} = 2054/2 = 1027$  стыков для базового технологического процесса и  $\Pi_{г.пр.} = 2054/1,4 = 1467$  стыков для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности отрасли в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии  $\Pi_r = 400$  стыков в год.

Требуемое количество технологического оборудования определяем с учётом ранее рассчитанного штучного времени для проектного варианта технологии и базового варианта технологии. При этом следует учесть коэффициент выполнения нормы  $K_{вн} = 1,03$ . Выполняем расчёт:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $n_{расч} = 2 \cdot 400 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$  для базового варианта технологического процесса;  $n_{расч} = 1,4 \cdot 400 / (2054 \cdot 1,03) = 0,3$  для проектного варианта технологического процесса.

В дальнейшем при выполнении экономических расчётов количество оборудования для выполнения операций базового технологического процесса принимаем  $n=1$ . Количество оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса принимаем  $n=1$ . На основании этого выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования  $K_з$  для базового и проектного вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $K_з = 0,4/1 = 0,4$  для базового варианта технологического процесса и  $K_з = 0,3/1 = 0,3$  для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования  $K_з$  для проектного и базового вариантов технологического процесса в дальнейшем понадобятся для расчёта капитальных затрат на построение технологии.

При расчётах следует принимать во внимание, что производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается количество используемого оборудования.

#### 4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам

Выполнение операций проектного технологического процесса и операций базового технологического процесса происходят с применением расходных материалов, затраты на которые рассчитываются в зависимости от коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$ , цены материалов  $C_M$  и нормы расходов материалов  $H_p$  по формуле:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $M=(410 \cdot 1,7 + 170) \cdot 1,05 = 910$  рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса:  $M=(180 \cdot 1,4 + 60 \cdot 14) \cdot 1,05 = 1147$  рублей.

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений и организационных мероприятий приводит к повышению расходов на сварочные материалы. Это объясняется тем, что базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки, в качестве материалов которой выступают штучные электроды. Проектная технология сварки предусматривает применение более прогрессивной процесса – механизированной сварки в защитных газах. В качестве сварочных материалов в этом случае выступает сварочная проволока и защитный газ.

Величина основной заработной платы рассчитывается на основании штучного времени  $t_{шт}$ , часовой тарифной ставки  $C_ч$  и коэффициента доплат  $K_д$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_д = 1,88$ :

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_д. \quad (8)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $Z_{осн} = 2 \cdot 250 \cdot 1,88 = 940$  рублей для базового варианта



технологического процесса и  $Z_{осн} = 1,4 \cdot 250 \cdot 1,88 = 658$  рублей для проектного варианта технологического процесса.

Величина дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$  рассчитывается в зависимости от рассчитанной выше основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента доплат  $K_{доп}$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_{доп} = 12\%$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $Z_{доп} = 940 \cdot 12 / 100 = 113$  рублей для операций базового технологического процесса и  $Z_{доп} = 658 \cdot 12 / 100 = 79$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы  $Z_{осн}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{доп}$ . Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $ФЗП = 940 + 113 = 1053$  рублей для операций базового технологического процесса и  $ФЗП = 658 + 79 = 737$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Отчисления на социальные нужды  $O_{сн}$  рассчитываем с учётом коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{сн}$ , который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным  $K_{сн} = 34\%$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $O_{сн} = 1053 \cdot 34 / 100 = 358$  рублей для операций базового технологического процесса и  $O_{сн} = 737 \cdot 34 / 100 = 251$  рублей для операций проектного технологического процесса.

Величину затрат на оборудование  $Z_{об}$  определяем расчётным путём на основании амортизационных отчислений  $A_{об}$  и затрат на электрическую энергию  $P_э$ :

$$Z_{об} = A_{об} + P_э. \quad (11)$$

При вычислении амортизационных отчислений  $A_{об}$  следует учитывать норму амортизации  $H_a$ , которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет  $H_a = 21,5 \%$ . Также в расчёт включено машинное время  $t_{маш}$ , которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования  $F_э$  и цена оборудования  $Ц_{об}$ .

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $A_{об.} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 2 / 2054 / 100 = 52$  рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии:  $A_{об.} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 1,4 / 2054 / 100 = 58$  рублей.

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций по проектному технологическому процессу рассчитываются с учётом мощности оборудования  $M_{уст}$ , КПД оборудования, машинного времени  $t_{маш}$  и стоимости электрической энергии для предприятий  $Ц_{ээ}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $P_{ээ} = 4 \cdot 2 \cdot 3,4 / 0,7 = 40$  рублей для базового варианта технологического процесса,  $P_{ээ} = 8 \cdot 1,4 \cdot 3,4 / 0,85 = 45$  рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование:  $Z_{об} = 52 + 40 = 92$  рублей по базовому технологическому процессу и  $Z_{об} = 58 + 45 = 103$  рублей по проектному технологическому процессу.

Размер технологической себестоимости  $C_{тх}$  определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы  $M$ , отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$ , фонда заработной платы ФЗП и затрат на оборудование  $Z_{об}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{\text{тех}} = 910 + 1053 + 358 + 92 = 2413$  рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса  $C_{\text{тех}} = 1147 + 737 + 251 + 103 = 2238$  рублей.

Размер цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  определяется исходя из ранее определённой технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину:  $C_{\text{цех}} = 2413 + 1,5 \cdot 940 = 2413 + 1410 = 3823$  рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса  $C_{\text{цех}} = 2238 + 1,5 \cdot 658 = 2238 + 987 = 3225$  рублей.

Размер заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  определяется исходя из ранее определённой цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , коэффициента заводских расходов и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $C_{\text{зав}} = 3823 + 1,15 \cdot 940 = 3823 + 1081 = 4904$  рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса  $C_{\text{зав}} = 3225 + 1,15 \cdot 658 = 3225 + 757 = 3982$  рублей.

Таблица 11 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости

Показатель	Условное обозначение	Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	<i>M</i>	910	1147
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	1053	737
3. Отчисления на соц. нужды	<i>O<sub>сн</sub></i>	358	251
4. Затраты на оборудование	<i>Z<sub>об</sub></i>	92	103
5. Технологическая себестоимость	<i>C<sub>тех</sub></i>	2413	2238
6. Цеховые расходы	<i>P<sub>цех</sub></i>	1410	987
7. Цеховая себестоимость	<i>C<sub>цех</sub></i>	3823	3225
8. Заводские расходы	<i>P<sub>зав</sub></i>	1081	757
9. Заводская себестоимость» [9]	<i>C<sub>зав</sub></i>	4904	3982

Данные, представленные в таблице 11, позволяют судить о высокой эффективности проектной технологии, которая позволяет уменьшить заводскую себестоимость относительно базовой технологии. Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии. Далее будут вычислены экономические показатели предлагаемых решений и сделан вывод об эффективности внедрения этих решений в производственный процесс.

#### **4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии**

Вычисляем капитальные затраты  $K_{\text{общ. б.}}$  на реализацию технологического процесса по базовому варианту. Расчёт следует выполнять с учётом коэффициента загрузки оборудования  $K_p$  и остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об. б.}}$ .

Величину остаточной стоимости оборудования определяем с учётом рыночной стоимости аналогичного нового оборудования  $\Pi_{\text{перв.}}$ , срока службы оборудования  $T_{\text{сл}}$  и нормы амортизационных отчислений  $N_a$ :

$$\Pi_{\text{об. б.}} = \Pi_{\text{перв.}} - (\Pi_{\text{перв.}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot N_a / 100). \quad (17)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Pi_{\text{об. б.}} = 250000 - (250000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 88750$  рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об. б.}} \cdot K_{3.б.} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{общ. б.}} = 88750 \cdot 0,4 = 35500$  рублей.

Расчёт капитальных затрат  $K_{\text{общ. пр.}}$  при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные

площади  $K_{пл.пр.}$ , сопутствующих затрат  $K_{соп}$  и капитальных затрат на оборудование  $K_{об.пр.}$ :

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

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило  $K_{ТЗ}=1,05$ , цены оборудования  $Ц_{об}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_з$ :

$$K_{об.пр.} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{ТЗ} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{об.пр.} = 400000 \cdot 1,05 \cdot 0,3 = 126000$  рублей.

Величина сопутствующих затрат  $K_{соп}$  рассчитывается с учётом расходов на демонтаж  $P_{дем}$  оборудования по базовому технологическому процессу и монтаж  $P_{мон}$  оборудования по проектному технологическому процессу.

Расходы на демонтаж с учётом коэффициента расходов на демонтаж оборудования  $K_{дем} = 0,05$  рассчитываются как

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д.} \quad (21)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{дем} = 250000 \cdot 0,05 = 12500$  рублей.

Расходы на монтаж с учётом коэффициента расходов на монтаж оборудования  $K_{мон} = 0,05$  рассчитываются как

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м.} \quad (22)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{монт} = 400000 \cdot 0,05 = 20000$  рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

$$P_{соп} = P_{дем} + P_{монт.} \quad (23)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{соп} = 12500 + 20000 = 32500$  рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}} = 126000 + 32500 = 158500$  рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  проводим с учётом капитальных затрат для проектной технологии  $K_{\text{общ. пр}}$  и капитальных затрат по базовой технологии  $K_{\text{общ. б}}$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{доп}} = 158500 - 35500 = 123000$  рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы  $\Pi_T$ :

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $K_{\text{уд}} = 35500/400 = 89$  рублей за единицу продукции по базовой технологии и  $K_{\text{уд}} = 158500 / 400 = 396$  рублей за единицу продукции по проектной технологии.

#### **4.6 Показатели экономической эффективности**

Для выполнения экономического обоснования настоящей выпускной квалификационной работы рассчитаем основные показатели эффективности.

Снижение трудоемкости  $\Delta t_{\text{шт}}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta t_{\text{шт}} = (2-1,4) \cdot 100 \% / 2 = 30 \%.$

Повышение производительности  $\Pi_T$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_T = 100 \cdot 30 / (100 - 30) = 42 \%$ .

Уменьшение технологической себестоимости  $\Delta C_{\text{тех}}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\Delta C_{\text{тех}} = (2413 - 2238) \cdot 100\% / 2413 = 7 \%$ .

Размер условно-годовой экономии  $P_{\text{ож}}$  рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $P_{\text{ож}} = (4904 - 3982) \cdot 400 = 368800$  рублей.

Длительность срока окупаемости предлагаемых мероприятий  $T_{\text{ок}}$  составляет:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $T_{\text{ок}} = 123000 / 368800 = 0,33$  года.

Величина годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_T$  рассчитывается как

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_n \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину  $\mathcal{E}_T = 368800 - 0,33 \cdot 123300 = 328210$  рублей.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решениях. Производительность труда повышается на 42 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 7 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,3 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,33 года.

## Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при выполнении ремонтных работ на технологических трубопроводах.

Базовая технология с применением ручной дуговой сварки приводит к возникновению значительного количества дефектов, исправление которых приводит к дополнительному снижению производительности. Кроме того, возникающие при сварке дефекты становятся очагами зарождения трещин при эксплуатации технологического трубопровода.

Анализ базовой технологии позволяет установить множественные недостатки, устранение которых, позволяет повысить производительность и качество выполнения сварочных работ.

. Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой.

Для повышения эффективности сварки предложено внедрить разработки отечественных исследователей.

Проектная технология может быть условно разделена на шесть операций. Первая операция – проведение входного контроля. Для её выполнения применяются набор визуально-измерительного контроля и дефектоскоп. Вторая операция – подготовка дефектного места. Для её выполнения применяется угловая шлифовальная машина и оборудование для газовой резки. Третья операция – предварительный подогрев. Для её выполнения применяются сварочный трансформатор и пояса для индукционного нагрева. Четвёртая операция – сварка. Для её выполнения применяется источник питания, формирователь сварочных импульсов, механизм подачи сварочной проволоки и оборудование для подачи защитного газа. Пятая операция – термическая обработка. Для её выполнения



применятся сварочный трансформатор и пояса для индукционного нагрева. Шестая операция – контроль качества. Для её выполнения применяется набор визуально-измерительного контроля, дефектоскоп и твердомер.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов. Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

Проведенные экономические расчёты позволяют судить о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Производительность труда повышается на 42 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 7 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,3 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,33 года.

Таким образом, внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений в производство позволяет получить доказанный расчётным путём экономический эффект. Доказана экономическая и технологическая эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель выпускной квалификационной работы достигнутой.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют работы по строительству и ремонту технологических трубопроводов на промышленных установках.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1234096 СССР, МКИ В23К9/00. Высокочастотный импульсный источник питания для дуговой сварки / Сергеев Ю. Е., Тефанов В. Н., Ибрагимов С. М., Лапытов Р. М. – № 3759932/25-27, заяв. 25.06.84; опубл. 30.05.86, Бюл. № 20. 2 с.
2. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
- 4-. Березин В. Л., Суворов А. Ф. Сварка трубопроводов и конструкций. М. : Недра. 1976. 359 с.
5. Голов Р.С., Сорокин А.Е., Мельник А.В., Рожков И.В. Основные технологические и маркетинговые тенденции развития сварочного производства // Сварочное производство. 2016. № 11. С. 46–51.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Григорьев В. А., Зорин В. М. Теплоэнергетика и теплотехника: справочник. М. : Энергоатомиздат, 1983. 372 с.
8. Демченко С. С., Герман С. И., Павляк Я. С. Исследование зоны разупрочнения, возникающей при сварке сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 1960. № 7. С. 24–26.
9. Дмитрик В. В., Глушко А. В., Барташ С. Н. К улучшению качественных характеристик структуры сварных соединений паропроводов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2013. № 10. С. 56–61.
10. Дмитрик В. В., Царюк А.К., Бугаец А.А. Оценка остаточного ресурса сварных соединений трубопроводов ТЭС // Автоматическая сварка. 2006. № 2. С. 7–11.

11. Дмитрик В. В., Ильенко Н. А., Кириченко Е. Н. Повышение механических свойств металла участка неполной перекристаллизации // Сварочное производство. 1991. № 1. С. 11–12.
12. Дмитрик В. В., Шевченко В. В. К эффективности использования тепла расплава ванны // Автоматическая сварка. 2001. № 4. С. 25–27.
13. Дудко Д. А., Сидорчук В. С., Зацерковный С. А. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима // Автоматическая сварка. 1991. № 12. С. 59–60.
14. Занковец П. В., Шелег В. К. Математическое моделирование и автоматизация технологической подготовки производства сварных конструкций // Наука и техника. 2017. № 1. С. 5–15.
15. Земзин В. Н. Жаропрочность сварных соединений. Л. : Машиностроение, 1972. 269 с.
16. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48–52.
17. Калугин Р. Н. Прогнозирование остаточного ресурса длительно эксплуатирующихся сварных соединений паропроводов в условиях ползучести по структурному фактору: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва: ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт». – 2008.
18. Колесников Я. А. Совершенствование технологии изготовления сварного оборудования нефтеперерабатывающей промышленности из жаропрочных сталей типа 15Х5М: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет. – 2006.
19. Конык А. И. Использование присадочной проволоки для улучшения структуры сварных соединений из теплоустойчивых перлитных сталей // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2005. № 1. С. 52-55.

20. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы: технический научно-производственный журнал. 2016. № 6. С. 18–23.

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

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

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

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

25. Новожилов Н. М., Соколова А. М. Разработка электродных проволок для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе // Сварочное производство. 1958. № 7. С. 10–14.

26. Павлов Н. А., Пучкова Р. С., Русинова И. Н. Полуавтоматическая сварка труб из хромомолибденованадиевых сталей в смеси углекислого газа и аргона // Сварочное производство. 1981. № 1. С. 12–14.

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

28. Патент № 2219032 РФ, МКИ В23К35/365. Состав электродного покрытия / Лозовский М. М., Волохов А. П., 2003.

29. Патон Б. Е., Семенов С. Е., Рыбаков А. А. О старении и оценке состояния металла эксплуатируемых трубопроводов // Автоматическая сварка. 2000. № 7. С. 3–12.

30. 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.

31. РД 34.17.421-92 Типовая инструкция по контролю и продлению срока службы металла основных элементов колов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. М. : Служба передового опыта ОРГРЭС, 1992. 94 с.

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

33. Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Полетика И. М. Улучшение структуры и свойств сварных соединений труб большого диаметра из низколегированной стали при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. 2004. № 12. С. 34–38.

34. Сварка и резка материалов: учеб. пособие / М. Д. Банов и др.; под ред. Ю. В. Казакова. - 3-е изд., стер.; Гриф МО. - М. : Академия, 2003. – 399 с.

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

36. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

37. Хромченко Ф. А. Надёжность сварных соединений труб, котлов и паропроводов. М. : Энергоиздат, 1982. 117 с.

38. Шайбаков Р. А., Давыдова Д. Г., Жуков А. В. Основные аспекты оценки технического состояния технологических трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2013. № 4. С. 17–21.

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

40. Crouch J. Expert system to optimize the selection of shielding gas // *Welding Review*. 1992. vol. 11. P. 123–124.

41. Fujita Y. Development of a welding monitoring system for in-process quality control of thick-walled pipe // *Welding World*. 2011. Vol. 56. P. 15–25.

42. Kim I. S., Jeong Y. J., Lee C. W. Prediction of welding parameters for pipeline welding using an intelligent system // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2003. vol. 22. P. 713–719.

43. Zakaria M. Y., Davies T. J. Stack cracking by hydrogen embrittlement in a welded pipeline steel // *Journal of Materials Science*. 1991. Vol. 26, P. 189–194.

44. Zhang W., Wang X., Zhang Y. Analytical real-time measurement of a three-dimensional weld pool surface // *Measurement Science and Technology*. 2013. Vol. 24. P. 112–119.