

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 Технология ремонтной сварки нефтепровода с установкой
временной ремонтной конструкции

Обучающийся

К.П. Агафонов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.ф-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

Аннотация

В настоящей работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварочных технологий при установке временных ремонтных конструкций на магистральные трубопроводы. Недостатками базовой технологии является малая производительность, низкая стабильность качества, которая в значительной мере определяется квалификацией сварщика и его кондициями.

На основании проведенных литературных изысканий установлено, что построения проектной технологии могут быть рассмотрены следующие способы сварки: ручная дуговая сварка, механизированная сварка в защитных газах, сварка самозащитной проволокой, автоматическая сварка под флюсом. По результатам анализа преимуществ и недостатков каждого способа для построения проектной технологии принята механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения.

В ходе литературных исследований и проведенных испытаний установлено положительное влияние импульсных режимов на свойства металла сварного шва. Кроме того, применение защитной газовой смечи в составе 30 % углекислого газа и 70 % аргона также позволяет повысить качество сварного соединения.

Импульсный характер горения дуги и переноса электродного металла позволяет вести сварку без разбрызгивания с получением мелкой чашуйчатости сварного шва. Кроме того, улучшаются условия формирования сварного шва – снижается пористость и измельчается структура наплавленного металла.

Годовой экономический эффект оценивается в 1,482 миллиона рублей.

Abstract

This paper examines the issue of increasing the efficiency of welding technologies when installing temporary repair structures on main pipelines. The disadvantages of the basic technology are low productivity, low quality stability, which is largely determined by the qualifications of the welder and his condition.

Based on the literature research carried out, it was established that the following welding methods can be considered when constructing a design technology: manual arc welding, mechanized gas-shielded welding, welding with self-shielding wire, automatic submerged arc welding. Based on the results of an analysis of the advantages and disadvantages of each method, mechanized gas-shielded welding with solid wire was adopted to construct the design technology.

In the course of literary studies and tests, a positive effect of pulsed modes on the properties of the weld metal was established. In addition, the use of a protective gas mixture consisting of 30% carbon dioxide and 70% argon also improves the quality of the welded joint.

The pulsed nature of the arc combustion and the transfer of electrode metal allows welding without spattering and producing a fine-frequency weld. In addition, the conditions for the formation of a weld are improved - porosity is reduced and the structure of the deposited metal is refined.

Содержание

Введение	6
1 Современное состояние исправления дефектов на магистральных трубопроводах с установкой муфт.	8
1.1 Описание дефектов на магистральном трубопроводе.	8
1.2 Сведения о материале магистрального трубопровода.	13
1.3 Особенности базовой технологии исправления дефекта на магистральном трубопроводе.	16
1.4 Анализ содержания научно-исследовательских работ по теме выпускной квалификационной работы.	23
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	29
2 Проектная технология установки ремонтной конструкции на магистральном трубопроводе.	30
2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии.	30
2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.	35
2.3 Особенности операций проектного технологического процесса.	37
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений.	41
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта.	41
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	43
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков.	44
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	45
3.5 Экологическая безопасность.	47
4 Экономическое обоснование проектных решений.	49
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования.	49
4.2 Фонд времени оборудования.	51
4.3 Штучное время и годовая программа.	52

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии.	54
4.5 Расчёт капитальных затрат.	59
4.6 Расчёт экономических показателей.	61
Заключение	63
Список используемой литературы и используемых источников.	65

Введение

Несмотря на внедрение современных экологичных технологий, предполагающих применение «зеленых» источников энергии, к которым относят солнечную энергию, энергию ветра, геотермальную и другие виды энергии, основным исполнителем энергетических запросов современной промышленности является энергетика, основанная на потреблении углеводородов (природный газ и нефтепродукты). Поставка этих ресурсов продолжает осуществляться Российской Федерацией и определяет дальнейшее развитие всей экономики страны. Следует отметить, что поставка энергоресурсов по территории Российской Федерации и за её пределы осуществляется при помощи системы магистральных трубопроводов, протяженность которых составляет порядка 100 тысяч километров. Ежегодно необходимо проводить ремонт и замену труб на суммарной протяженности до 10 тысяч километров. Со временем происходит износ линейной части трубы, образование на ней дефектов и потеря несущей способности. По прошествии определенного времени и в зависимости от состояния трубопровода проводят замену его участков, но до этого времени исправление возникающих дефектов выполняют с применением временных ремонтных конструкций, которые устанавливают на трубопроводе в месте обнаружения дефекта. В настоящий момент порядка 30 % все магистральных трубопроводов, проложенных по территории Российской Федерации, имеют срок службы более 30 лет. В таких трубопроводах накопилось значительное количество дефектов, также следует учесть что на стадии строительства магистрального трубопровода, которое проходило в конце 20-го века, были заложены дефекты, развитие которых определяет предаварийное состояние. Это объясняется недостаточным контролем качества и несовершенством проектной документации, которая применялась в то время.

Для того, чтобы обеспечить безаварийную работу стареющего магистрального трубопровода, проводят диагностику его состояния и своевременное устранение «дефектов с применением временных ремонтных конструкций, устройство которых регламентировано нормативной документацией. Применение таких конструкций позволяет продлить срок эксплуатации трубопровода вплоть до капитального ремонта» [2], при котором будет выполнен демонтаж его линейной части и замена на новые трубы. Применение временных ремонтных конструкций проходит на магистральных трубопроводах уже несколько десятков лет, но технология их производства и установки продолжает совершенствоваться [37]. В первую очередь, это объясняется несовершенством применяемых ремонтных конструкций и сварочных технологий, из-за чего не удается добиться равномерного снижения нагрузки на дефектном участке [39].

В настоящее время, как показывает практика эксплуатации стареющих магистральных трубопроводов, за счёт поставщика удастся провести ремонт на 2 тысячах километрах труб [2], [3]. Таким образом, эксплуатация трубопровода с учётом необходимости поддержания его работоспособности в условиях действия ценового порога, установленного иностранным потребителем, становится убыточной. Для повышения рентабельности добывающей и транспортирующей отрасли следует повышать эффективность проведения ремонтных работ на стареющих трубопроводах с применением временных ремонтных конструкций. При этом значительная роль в реализации технологического процесса ремонта трубопровода отводится сварочным технологиям. На основании вышеизложенного следует признать актуальным выбранное направление исследования и поставленную цель – повышение эффективности сварочных работ при ремонте магистральных трубопроводов с установкой временных ремонтных конструкций.

Поставленная цель позволяет также обеспечить промышленную независимость от поставок иностранных комплектующих и технологий [6], [5], [19], [23].

1 Современное состояние исправления дефектов на магистральных трубопроводах с установкой муфт

1.1 Описание дефектов на магистральном трубопроводе

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос построения технологии для исправления дефектов длительно эксплуатируемого магистрального нефтепровода, который имеет диаметр основной ветки 1220 мм и диаметр резервной ветки 1020 мм. Данный трубопровод проходит по территории Западно-Сибирской низменности по тайге. Протяженность ремонтируемого участка в сумме составляет порядка 200 км. Длительность непрерывной эксплуатации составляет 40 лет. В ходе проведения внутритрубной диагностики выявлено значительное количество дефектов. Для мониторинга состояния применялся интеллектуальный поршень «Rozen», представленный на рисунке 1.



Рисунок 1 – Поршень для внутритрубной диагностики состояния магистрального трубопровода

Обнаруженные дефекты могут быть условно поделены на три группы. К первой группе следует отнести дефекты, связанные в отклонением от проектного положения трубы. В число дефектов первой группы входят всплывшие участки трубопровода, провисы и выпучины. Образование таких дефектов происходит по причине выхода грунтовых вод и морозного

пучения. При выходе на поверхность грунтовых вод происходит всплытие части трубопровода. При морозном пучении происходит выпучивание части трубопровода. Образующийся при эксплуатации арочный выброс трубопровода может состоять из нескольких волн.

Ко второй группе следует отнести дефекты, связанные с нарушением формы поперечного сечения трубы. К ним относятся вмятины, овальность и гофры. На рисунке 2 представлены примеры обнаруженных на трубопроводе вмятин. Образование вмятин происходит по причине воздействия на поверхность трубы твердого тела. Также возможно образование овальности труб, причиной которой является работа трубопровода в условиях значительных поперечных нагрузок. Если в процессе работы трубопровода произошёл его холодный изгиб, на трубе возможно образование гофр в виде складок, имеющих высоту порядка одной толщины стенки трубы.



Рисунок 2 – Вмятины на магистральном трубопроводе

К третьей группе следует отнести дефекты стенки и дефекты сварных соединений. Эти дефекты возникают при различных этапах строительства трубопровода – от изготовления труб (металлургические дефекты стенки трубы), строительстве (получение дефектов в сварном шве) до эксплуатации (эксплуатационные дефекты в виде потери части стенки трубы из-за коррозии, растрескивания). На рисунке 3 представлены примеры дефектов магистральных трубопроводов третьего типа, выявленных в ходе эксплуатации.



Рисунок 3 – Дефекты магистрального трубопровода в сварном шве и растрескивание

Действующая нормативная документация, регламентирующая проведение ремонтных работ на магистральных трубопроводах [29], [30], [31], предусматривает три типа проведения ремонтных работ. К первому типу относится переизоляция поврежденного участка трубопровода, что позволяет продолжить его эксплуатацию и применяется при незначительных повреждениях и дефектах, не требующих немедленного исправления. Ко второму типу относится капитальный ремонт трубопровода с проведением демонтажа дефектного участка и установкой новой линейной части, при этом длина участка трубопровода, на котором проводится такой ремонт, должна быть порядка 30 км или более, в противном случае существенно снижается экономическая эффективность проводимых работ на единицу длины трубопровода. К третьему типу относится ремонт локальных дефектов с восстановительной наплавкой или установкой ремонтных конструкций. Поскольку этот тип ремонта предшествует капитальному ремонту, то устанавливаемые в ходе такого ремонта конструкции считаются временными, хотя срок их эксплуатации после установки может составлять несколько десятков лет. На рассматриваемом в настоящей выпускной квалификационной работе участке трубопровода проводится исправление локальных дефектов с установкой временных ремонтных конструкций.

На рисунке 3 представлена «статистика по авариям на магистральных трубопроводах Российской Федерации, собранная и проанализированная в работе» [35]. Как видно, несмотря на принимаемые решения в области повышения надежности эксплуатации трубопроводов, наблюдается значительное количество крупных аварий. Таким образом, актуальность проведения работ по обеспечению безаварийной работы магистральных трубопроводов сохраняется. На рисунке 4 представлена диаграмма факторов, становящихся «причинами аварий на магистральных трубопроводах» [16], [35].

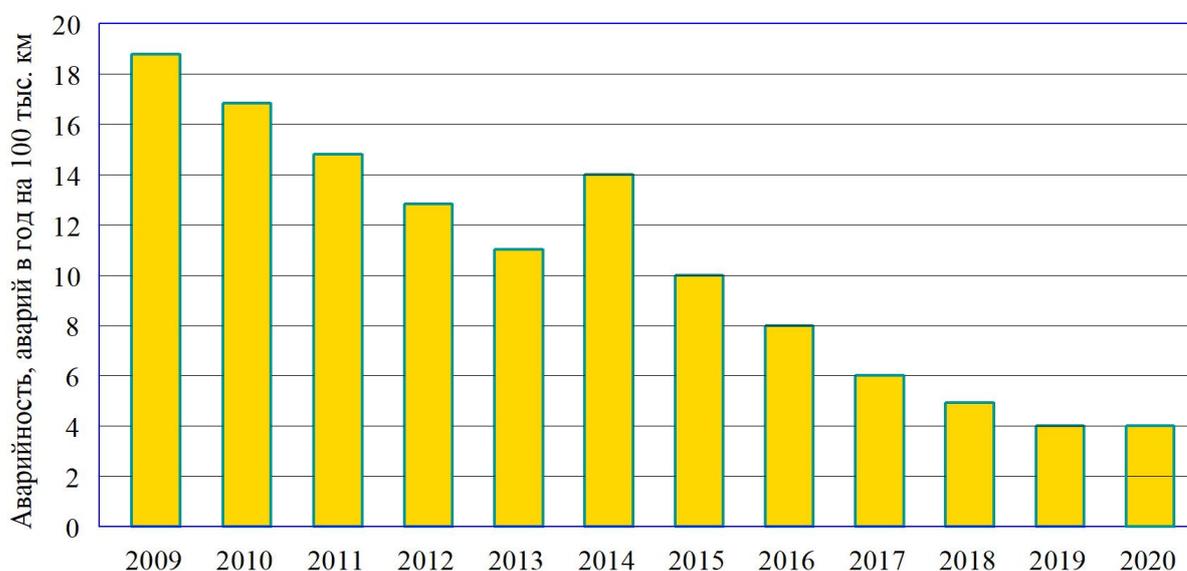


Рисунок 3 – Аварийность на магистральных трубопроводах

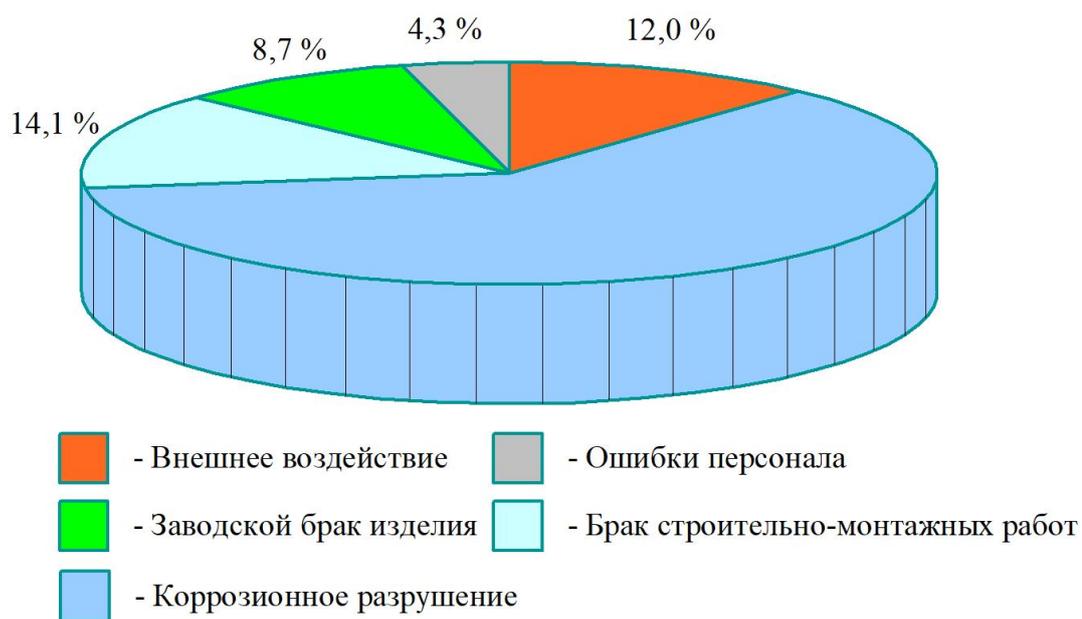


Рисунок 4 – Причины аварий на магистральных трубопроводах

«На рисунке 5 представлена гистограмма накопления дефектов стенки трубы по мере длительной эксплуатации магистрального трубопровода» [35]. Как видно, со временем в стенке трубы наблюдается рост общего уровня дефектности и количества критических дефектов. Таким образом, эксплуатация стареющего магистрального трубопровода сопровождается ростом затрат на поддержание его работоспособности, что отрицательно сказывается на экономических показателях.

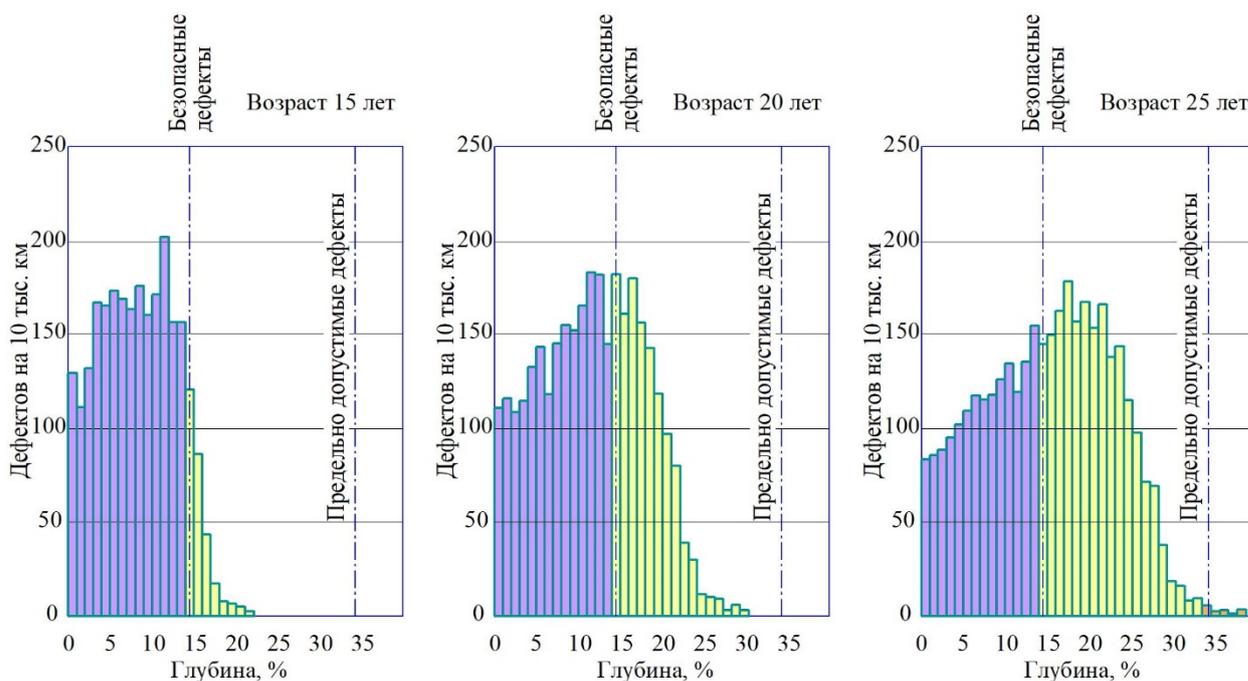


Рисунок 5 – Гистограмма накопления дефектов в стенке трубы магистрального трубопровода по мере его длительной эксплуатации

«Для проведения экстренного и текущего ремонта при исправлении обнаруженных критических дефектов магистрального трубопровода применение ремонтных муфт позволяет обеспечить требуемую надежность конструкции в течение всего срока эксплуатации трубопровода до замены его линейной части в ходе проведения капитального ремонта» [40]. Как показывает многолетняя практика установки и эксплуатации временных ремонтных конструкций, надёжность работы отремонтированного участка в значительной степени определяется качеством проведения сварочных работ и эффективностью применяемых технологических решений.

1.2 Сведения о материале магистрального трубопровода

Для изготовления рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе трубопровода применялись трубы класса прочности K52 из стали 17Г1С-У, состав которой представлен в таблице 1. «Рассматриваемая сталь нашла применение в металлических конструкциях ответственного назначения, которые эксплуатируются при температуре -40 до +475 °С. Так как работа стали может проходить в условиях действия повышенных давлений, она применяется в трубопроводном транспорте при строительстве магистральных трубопроводов и технологических трубопроводов пара и горячей воды. Давление внутри трубопровода из стали 17Г1С допускается до 2,2 МПа при температуре перекачиваемого продукта до 350 °С» [34].

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 17Г1С-У

Наименование элемента	Символ	Содержание	Наименование элемента	Символ	Содержание
Углерод	C	0.15 - 0.2	Фосфор	P	до 0.035
Кремний	Si	0.4 - 0.6		Cr	до 0.3
Марганец	Mn	1.15 - 1.6	Азот	N	до 0.008
Никель	Ni	до 0.3	Медь	Cu	до 0.3
Сера	S	до 0.04	Мышьяк	As	до 0.08

В работах [33], [38] показано значительное влияние концентраторов напряжения на сопротивление металлических конструкций из стали 17Г1С усталостным разрушениям. Зарождение усталостных трещин происходит вблизи концентраторов напряжения, при этом трещины могут распространяться как в металле сварного шва, так и в основном металле. В работе [38] показана склонность конструкций из стали 17Г1С при длительной эксплуатации формировать участки коррозионного растрескивания, как показано на рисунке 6. Представленные микрофотографии получены для испытания по методу NACE TM 0177 при $\sigma=0,9\sigma_{0,2}$

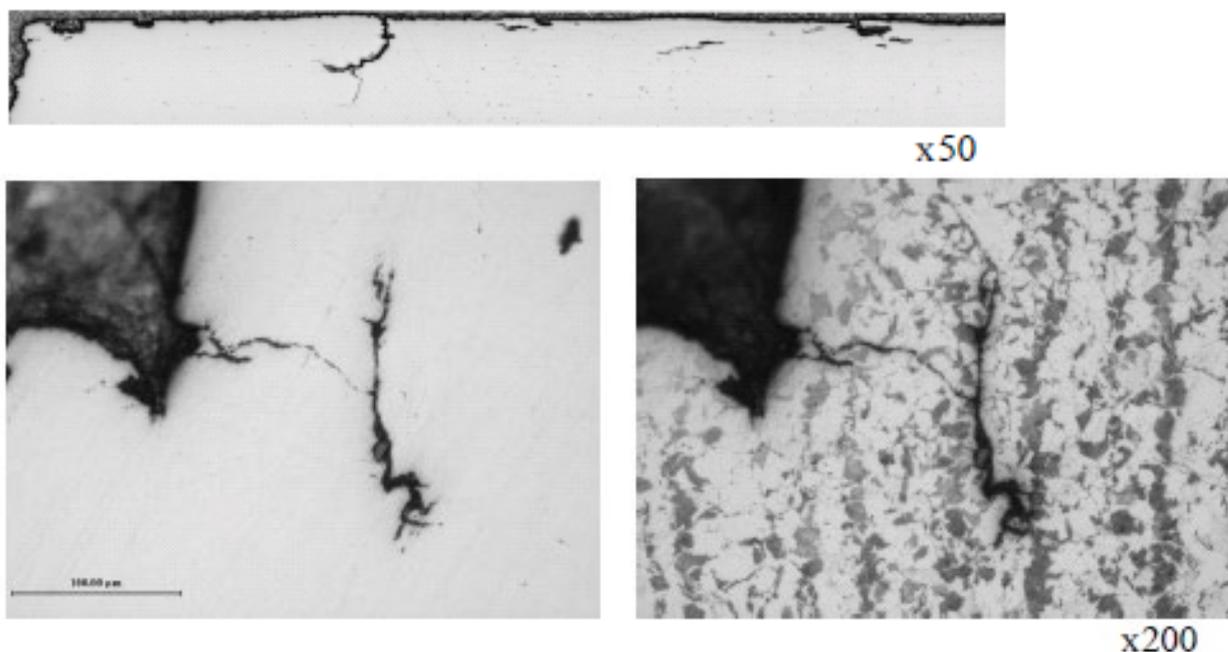


Рисунок 6 – Примеры коррозионного растрескивания в стали 17Г1С

Сталь 17Г1С при сварке подвержена изменению структуры, под действием термического цикла от сварки в зоне термического влияния может «наблюдаться сильное укрупнение зерна и снижение прочности» [32], [41], [46], [48]. На рисунке 7 представлена структура металла сварного шва в случае применения стационарной дуги (рисунок 7-а) и в случае применения импульсного управления дугой (рисунок 7-б). На рисунке 8 представлена структура зоны термического влияния в случае применения стационарной дуги (рисунок 8-а) и в случае применения импульсного управления дугой (рисунок 8-б).

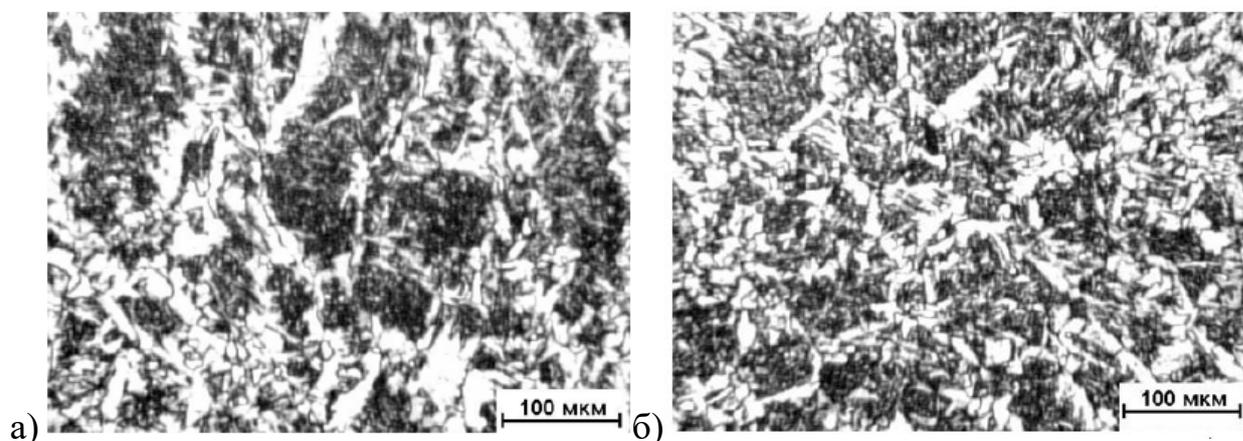


Рисунок 7 – «Структура металла сварного шва стали 17Г1С-У при сварке стационарной дугой (а) и импульсной дугой (б)» [32]

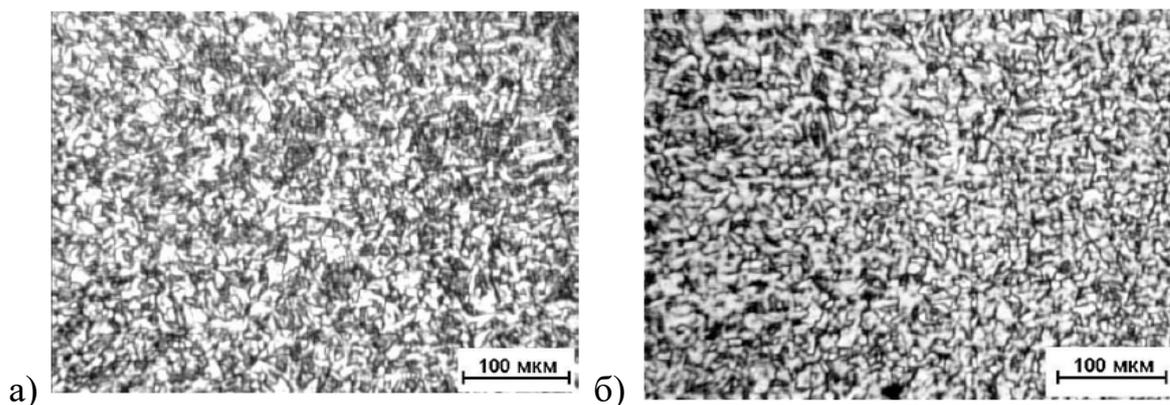


Рисунок 8 – «Структура зоны термического влияния стали 17Г1С-У при сварке стационарной дугой (а) и импульсной дугой (б)» [32]

«Как видно из рисунков 8 и 9, применение импульсных режимов сварки позволяет уменьшить размер зерна металла в 1,3...1,8 раза по сравнению со сваркой стационарной дугой» [32]. Кроме того, многочисленными исследователями отмечается факт повышения усталостной прочности при использовании импульсных режимов сварки, которая по сравнению со сваркой стационарной дугой может составлять 1,4 раза в зоне термического влияния и 1,7 раза в наплавленном металле.

При выполнении сварных конструкций из стали 17Г1С следует принимать во внимание опасность образования в основном металле закалочных структур. Как показывает практика, при соблюдении параметров режима и техники сварки наблюдается равномерное распределение закалочных структур по ферритной фазе, что не оказывает значительного влияния на пластичность и металла и его стойкость по отношению к хрупкому разрушению. Однако при нарушении техники сварки, приводящем к увеличению погонной энергии сварки, увеличивается количество закалочных структур в основном металле и происходит их группирование, что повышает восприимчивость конструкции к хрупкому разрушению. Так как в стали 17Г1С содержится большее количество марганца и кремния, чем в низкоуглеродистых сталях, то процессы формирования закалочных структур при сварке должны учитываться, а выбор параметров режима должен проводиться с большей тщательностью [4].

1.3 Особенности базовой технологии исправления дефекта на магистральном трубопроводе

Продление срока эксплуатации стареющего магистрального трубопровода, имеющего локальные дефекты критического уровня, возможно при установке на нём временных ремонтных конструкций типа муфт. Весь комплекс мероприятий по поддержанию работоспособности стареющих магистральных трубопроводов представлен на рисунке 9. Наибольшее распространение при исправлении дефектов получила ремонтная муфта П1, состав которой и пример использования представлены на рисунке 10. Конструкций такой муфты характеризуется простотой исполнения. Установку муфты на ремонтируемом участке трубы следует выполнять с соблюдением технологического зазора, который регулируется при помощи задающих болтов. Величина зазора должна составлять не менее 6 мм.

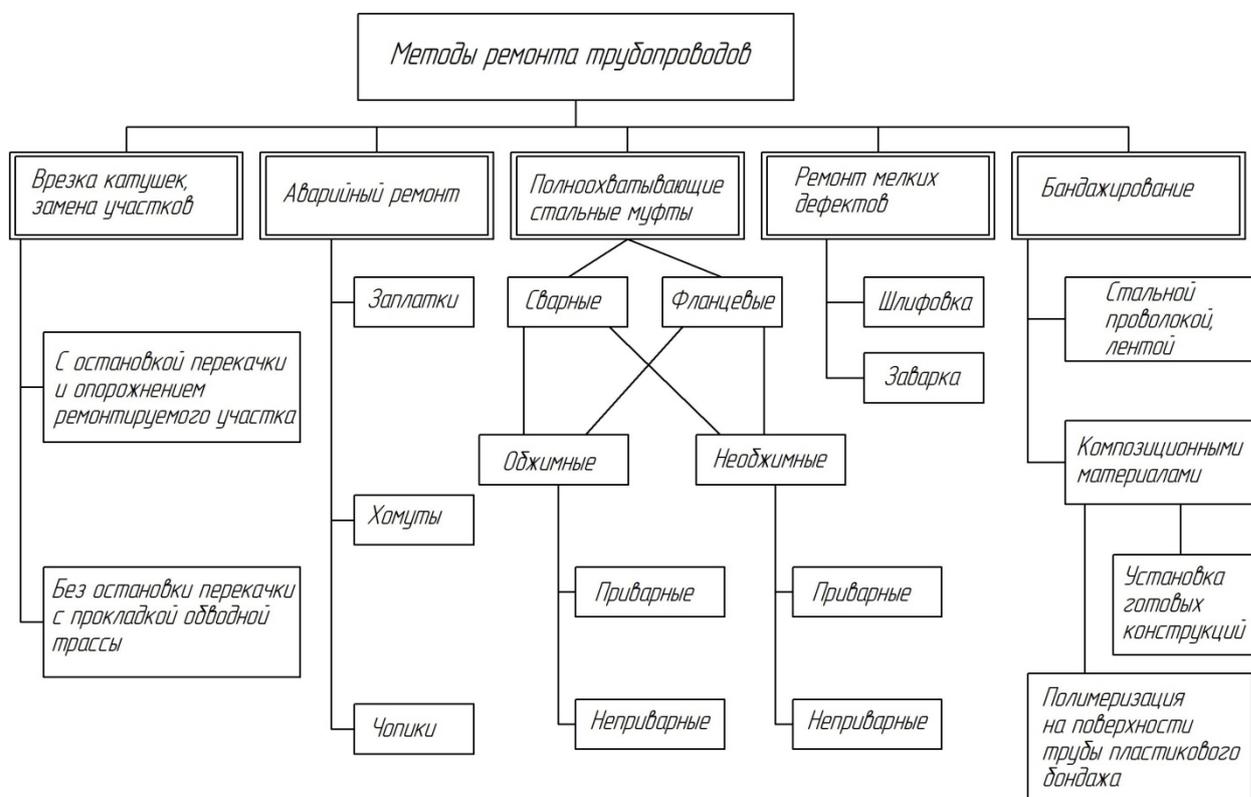


Рисунок 9 – Применение ремонтных конструкций при исправлении дефектов на стареющих магистральных трубопроводах



Рисунок 10 – Применение ремонтной муфты П1 для исправления дефекта на магистральном трубопроводе

Конструктивно муфта выполнена из двух полумуфт, которые при установке на трубе соединяются между собой при помощи ручной дуговой сварки двумя продольными швами. После установки полумуфт и фиксации на трубе выполняется герметизация торцев быстрозатвердевающим герметиком. «Далее через входной штуцер на нижней полумуфте осуществляют подачу в пространство между муфтой и трубой эпоксидного компанауда, при этом через штуцер в верхней полумуфте проходит стравливание воздуха. Толщина стенки полумуфты составляет 14 мм, стенки полумуфт изготавливаются из стали 17Г1С класса прочности К52» [2].

С применением дефектоскопического контроля определяют положение дефектного места на ремонтируемом участке магистрального трубопровода. Далее проводят его очистку от остатков изоляционного покрытия. С применением пневматической шлифовальной машинки и проволочной щетки выполняют очистку дефектной зоны до металлического блеска. После того, как была проведена очистка дефектной зоны, возможно уточнение характера и размеров дефектов, для чего могут применяться средства визуального, ультразвукового и рентгеновского контроля. Для определения остаточной толщины стенки трубы применяется ультразвуковой толщиномер.

«При установке муфты не допускается расположение сварных швов над дефектом стенки трубы. Расстояние от кольцевого шва ремонтной муфты до патрубков на трубопроводе не должно быть менее 100 мм. Также следует обеспечить минимальное расстояние от кольцевого шва трубопровода до торца ремонтной муфты, которое не должно быть менее 100 мм.

Перед установкой полумуфт на трубопроводе проводят зачистку их поверхности в зоне кромок на ширину не менее 20 мм как с внутренней, так и с наружной стороны. Зачистку выполняют с применением пневматической шлифовальной машины и проволочного круга.

Установку полумуфт на трубопровод выполняют с применением подъёмной техники и специальной оснастки. На кромках полумуфт заводским способом выполнена V-образная разделка кромок, которая представлена на рисунке 11. При сборке полумуфт на трубе необходимо обеспечение технологического зазора между полумуфтами 2...3,5 мм.

Сварку ведут электродами УОНИ 13/55. Перед сваркой следует провести прокалку электродов в течение 90...120 минут при температуре 380...420 °С, для чего применяется представленная на рисунке 12-а печь ЭПСЭ-40/400. После прокалики электроды следует поместить в резервную печь ЭПСЭ-10/400, представленную на рисунке 12-б. Из резервной печи электроды следует вынимать непосредственно перед использованием. Неиспользованные в течение смены электроды следует повторно прокалить» [2].

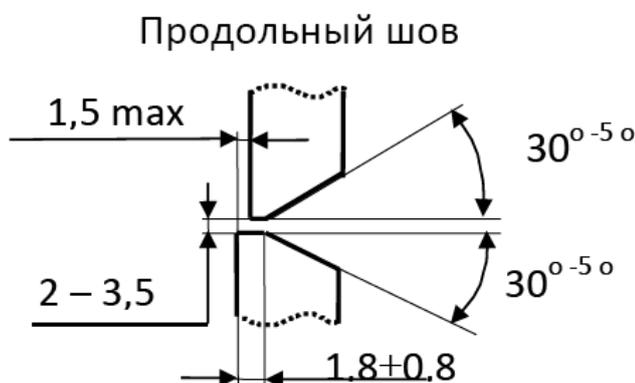


Рисунок 11 – V-образная разделка кромок полумуфт

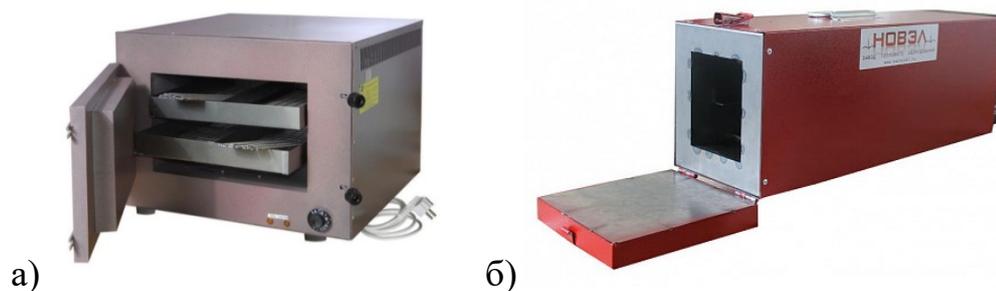


Рисунок 12 – Печи ЭПСЭ-40/400 для прокали электродов (а) и ЭПСЭ-10/400 для хранения электродов (б)

«Для сварки в качестве источника питания применяется представленный на рисунке 13 выпрямитель ВД-306. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Параметры режима сварки в зависимости от диаметра электрода представлены в таблице 2» [34].

Таблица 2 – Параметры режима в зависимости от диаметра электрода

«Сварочные слои	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
Прихватка	3,0	90...120
Корневой	3,0	90...120
Заполняющие	3,0	100...130
	4,0	140...170
Облицовочный	3,0	100...120
	4,0	135...160» [2]



Рисунок 13 – Сварочный выпрямитель ВД-306

«Для выполнения прихваточных швов следует привлекать двух сварщиков, каждый сварщик располагается по разные стороны от трубы и ведет сварку параллельно другому сварщику. Перед выполнением прихватки проводят предварительный локальный подогрев до температуры 100...150 °С при помощи пламени газовой горелки. Прихватки накладывают длиной 50...70 мм. расстояние между прихватками составляет порядка 500 мм. На один продольный шов должно быть выполнено не менее трех прихваток» [2]. Каждую прихватку следует проверить на наличие дефектов визуально. Не допускается наличие трещин, непроваров, надрывов. В противном случае прихватку следует полностью удалить и заварить заново.

Далее в начале и конце продольных швов приваривают входные и выходные планки, которые представляют собой пластины из стали Ст 3 толщиной 3...5 мм длиной не менее 40 мм. «Эти пластины позволяют избежать образования кратеров при начале и окончании сварки. После выполнения продольного сварного шва» [34] с использованием отрезного круга входные и выходные пластины отрезают, а место отреза тщательно зачищают. На рисунке 14 представлена схема сборки полумуфт перед сваркой.

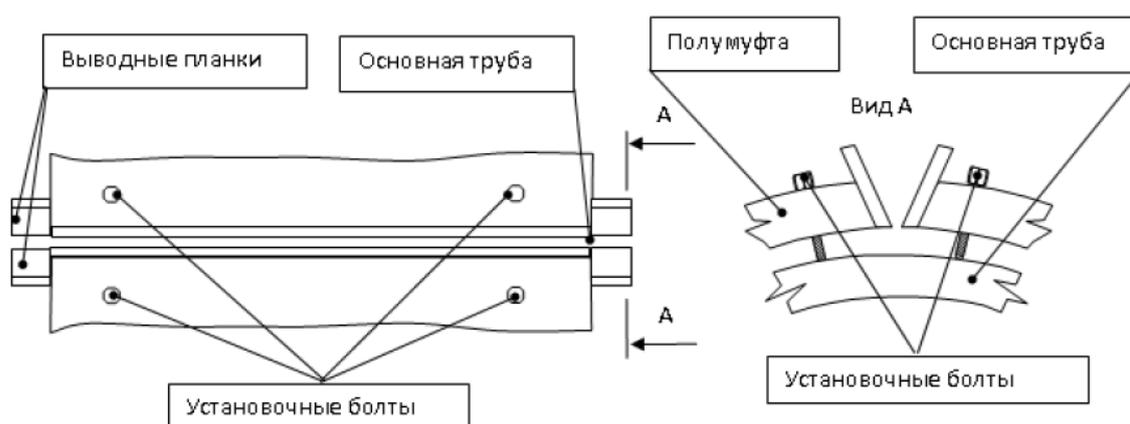


Рисунок 14 – Сборка полумуфт перед сваркой

При помощи газового пламени проводят предварительный подогрев места сварки до температуры 100...150 °С. Контроль температуры проводят не менее чем в четырех точках. Корневой слой сварного шва выполняется

одновременно двумя сварщиками, которые ведут сварку параллельно друг другу с обеих сторон трубы обратноступенчатым способом. Направление движения – от центра к периферии. Сварка продольного шва обратноступенчатым способом позволяет уменьшить уровень остаточных напряжений и деформаций в конструкции. Схема выполнения сварных швов обратноступенчатым способом представлена на рисунке 15. Заполнение разделки также следует вести обратноступенчатым способом согласно схеме процесса на рисунке 15. На рисунке 16 представлена последовательность наложения валиков в продольных швах ремонтной муфты.

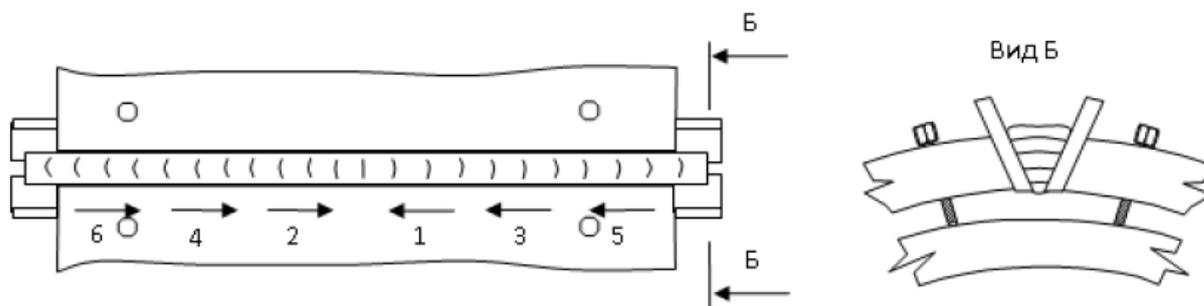


Рисунок 15 – «Схема выполнения продольного шва обратноступенчатым способом» [34]

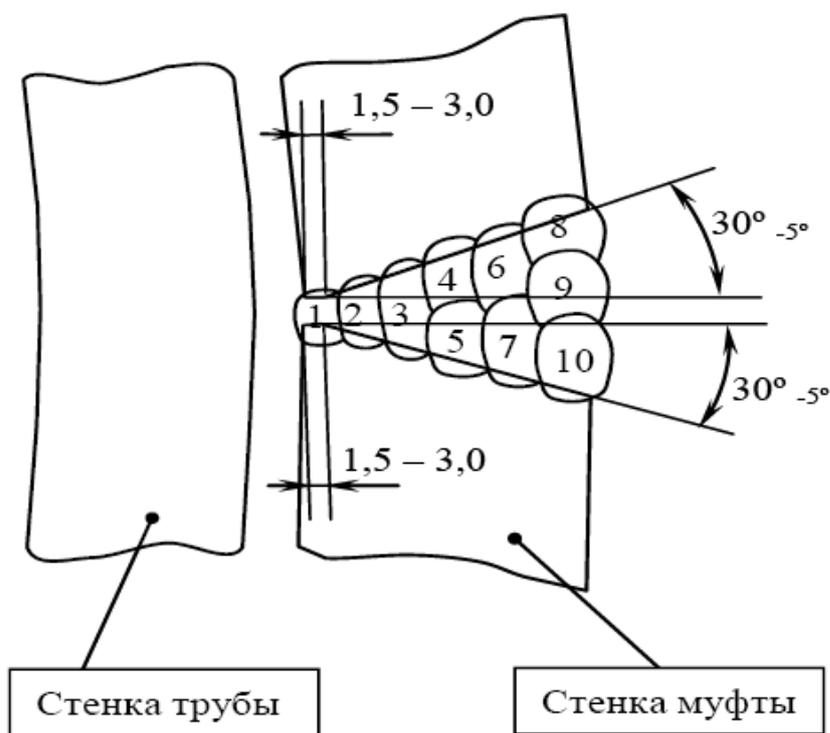


Рисунок 16 – «Последовательность наложения валиков в продольных швах ремонтной муфты» [34]

При выполнении облицовочного слоя необходимо обеспечить усиление шва на уровне 1...3 мм, при этом перекрытие основного металла слоем наплавленного металла должно составлять 1,5...2,5 мм. Следует добиваться гладкой или малочащучастой поверхности металла, глубина впадины не должна превышать высоту выпуклости более чем на 0,5 мм. Не допускается резких переходов от наплавленного металла к основному металлу трубы. Валики металла должны перекрываться на 1/3 ширины.

«После выполнения сварного соединения следует провести их немедленный визуальный, измерительный и ультразвуковой контроль. Объем визуального и измерительного контроля составляет 100 %» [34]. Проверяется соответствие формы сварного шва требованиям нормативной документации, отсутствие наплывов металла, трещин. Не допускаются единичные поры размером более 2 мм, вогнутость корневого слоя шва, подрезы более 2 мм. Не допускается наличие незаваренных кратеров. Визуальный и измерительный контроль проводится согласно РД 03-606-03.

Объем ультразвукового контроля 30 %. В ходе его выполнения проверяется отсутствие непроваров и несплавлений между слоями, скоплений пор и единичных пор размером более 1 мм, шлаковых включений. Ультразвуковой контроль проводится согласно ГОСТ 14782.

Визуальный и измерительный контроль проводится с применением комплекта, который включает в себя «футляр для хранения, инструкцию для проведения контроля, универсальный шаблон сварщика, наборы радиусных шаблонов и щупов, электрический фонарик, рулетку, металлический угольник и линейку длиной 300 мм, штангенциркуль, набор луп с увеличением 3,5 (с подсветкой), 4, 7 и 10 (измерительная), маркер по металлу.

Для проведения ультразвукового контроля применяется представленный дефектоскоп USD-500 и набор стандартных образцов» [34].

1.4 Анализ содержания научно-исследовательских работ по теме выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при проведении ремонта магистральных трубопроводов с установкой на них временных ремонтных конструкций. При составлении введения был выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для того, чтобы поставленная цель была достигнута, необходимо обеспечить решение ряда задач, формулировка которых воспоследует по результатам выполнения аналитического раздела настоящей выпускной квалификационной работы. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности сварочных процессов. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери». Для поиска информации воспользуемся ключевыми словами «ремонтная сварка металлических конструкций» «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «статья», «диссертация». Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам. По теме исследования найдено 15 источников научно-технической информации.

В первой работе [44] описывается исследование влияния состава защитного газа на свойства соединений при механизированной сварке

порошковой проволокой. «Установлено, что состав защитного газа оказывает решающее влияние на характер переноса электродного металла при сварке для всех составов сварочной проволоки. Применение газовой смеси аргон + гелий вместо чистого углекислого газа позволяет уменьшить длительность коротких замыканий. При этом мелкокапельный перенос электродного металла сменяется на струйный. Отмечается существенное уменьшение потерь электродного металла на разбрызгивание и угар» [44].

Данная работа показывает эффективность применения сварки порошковой проволокой в защитных газах. Работа будет рассмотрена для обоснования выбора способа ремонтной сварки при построении проектной технологии.

Во второй работе [22] показана возможность изготовления порошковых проволок в промышленных масштабах из сырья, добываемого в Уральском регионе Российской Федерации. Составлены рекомендации для назначения состава шихты проволоки с учётом особенностей добываемого минерального сырья.

Результаты этой работы подтверждают правильность выбора сварки порошковой проволокой, расходные материалы для которой могут быть получены из отечественных материалов методом импортозамещения.

В третьей работе [27] представлен промышленный опыт применения технологии наплавки порошковой проволокой на различных предприятиях. Показана высокая эффективность применения механизированной наплавки порошковой проволокой. Для промышленности предложена проволока оригинального состава диаметром 1,6 мм, получившая название ПП-АН198, которая позволяет выполнять наплавку на листовую низкоуглеродистую сталь с получением биметалла. Применение этой проволоки отличается отсутствием дефектов в наплавленном металле и уменьшенным уровнем остаточных напряжений.

Данная работа позволяет судить о высокой эффективности применения сварки порошковой проволокой и будет рассмотрена для обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии.

В четвертой работе [12] исследовано влияние параметров импульсного управления питанием сварочной дуги на качество сварного соединения при изготовлении и ремонте металлических конструкций из низкоуглеродистых сталей. Исследовался процесс механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения. Установлено что длительность накладываемых импульсов в значительной степени определяет свойства наплавленного металла, при этом длительность импульса дополнительного тока позволяет задавать величину среднего сварочного тока и частоту отрыва капель расплавленного металла от электродной проволоки. Значение среднего сварочного тока может быть изменено путём регулирования амплитудного значения тока сварки. Применение систем импульсного управления с обратной связью по току позволяет повысить стабильность качества сварки, уменьшить разбрызгивание электродного металла и добиться пространственной стабильности сварочной дуги, что особенно важно при выполнении монтажной сварки и проведении ремонта крупногабаритных металлических конструкций.

Данная работа показывает эффективность применения импульсного управления при механизированной сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах. Работа будет рассмотрена для обоснования выбора способа ремонтной сварки при построении проектной технологии.

В пятой работе [7] проведённые исследования позволили повысить адекватность математического моделирования тепловых процессов при ручной дуговой сварке.

Данная работа показывает эффективность применения ручной дуговой сварки и будет рассмотрена для обоснования выбора способа ремонтной сварки.

В шестой работе [3] показан значительный вклад дефектов сварки, допущенных в ходе строительства магистральных трубопроводов в общую аварийную обстановку при эксплуатации в условиях естественного старения трубопровода. При этом дефекты сварки, которые не были своевременно обнаружены и устранены, становятся очагами дальнейшего разрушения трубопровода при его длительной эксплуатации.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследования.

В седьмой работе [39] проведено комплексное исследование эффективности технологических и организационных решений при исправлении дефектов на магистральных трубопроводах с использованием обжимных муфт. При этом основной упор в исследованиях сделан на зависимость надёжности ремонтной конструкции от зазоров при сборке ремонтной муфты.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследования и построении проектной технологии ремонтной сварки с установкой на магистральном трубопроводе временной ремонтной конструкции.

В восьмой работе [16] представлена статистика по дефектам сварочных работ на магистральных трубопроводах. Предложена научно обоснованная методика, которая позволяет увеличить надёжность оценки состояния трубопровода за счёт применения дифференцированной оценки качества и расчётного прогнозирования изменяющихся в ходе эксплуатации параметров использования трубопровода.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследования и построении проектной технологии ремонтной сварки с установкой на магистральном трубопроводе временной ремонтной конструкции.

В девятой работе [35] проведено комплексное исследование по выявлению влияния на надёжность работы магистральных трубопроводов

таких факторов, как несовершенство технологии, непроработанность нормативной документации, ошибки в проектировании и расчёты в построении и организации сварочного производства. На основании проведенных исследований сформулированы исправления и дополнения в нормативную документацию по строительству и обслуживанию магистральных трубопроводов.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследования и построении проектной технологии ремонтной сварки с установкой на магистральном трубопроводе временной ремонтной конструкции.

В десятой работе [40] представлены основные тенденции и затруднения при исправлении дефектов на магистральных трубопроводах с применением усиливающих муфт. Показано, что применение приварных временных ремонтных конструкций позволяет существенно повысить эффективность использования магистрального трубопровода, так как позволяет проводить ремонт без остановки прокачки по трубопроводу продукта.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследования.

В одиннадцатой работе [38] показана высокая эффективность применения импульсного управления сварочной дугой при механизированной и автоматической сварке. Применение импульсного питания дуги позволяет стабилизировать перенос электродного металла и повысить пространственную стабильность дуги, что расширяет возможности по автоматизации процесса сварки. Кроме того, за счёт изменения теплового баланса при сварке повышается энергетическая эффективность процесса, что положительно сказывается на экономических показателях производства.

Данная работа будет использована при обосновании выбора способа сварки и построении проектной технологии сварки при ремонте магистрального трубопровода с установкой ремонтной муфты.

В двенадцатой работе [28] и тринадцатой работе [43] показана высокая эффективность применения сварки порошковой проволокой. При этом достигается повышение производительности и качества по сравнению с применением ручной дуговой сварки.

Данные работы будут использованы при обосновании выбора способа сварки.

В четырнадцатой работе [11] показана эффективность и необходимость модернизации применяющегося в настоящий момент на предприятиях России сварочного оборудования с применением достижений отечественных исследователей-сварщиков. Это позволяет обеспечить импортозамещение и независимость российской промышленности от поставок иностранных комплектующих и технологий.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследования, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии.

В пятнадцатой работе [45] показана возможность повышения эффективности механизированной сварки в защитных газах за счёт подбора состава защитной газовой смеси.

Данная работа будет использована обосновании выбора способа сварки и построения проектной технологии.

Таким образом, для построения проектной технологии могут быть рассмотрены следующие способы сварки: ручная дуговая сварка, механизированная сварка в защитных газах, сварка самозащитной проволокой, автоматическая сварка под флюсом.

На основании проведенного изучения исходных данных и научной литературы по вопросу повышения эффективности сварки при ремонте магистральных трубопроводов с применением временных конструкций следует сформулировать задачи, решение которых впоследствии при выполнении исполнительского раздела настоящей выпускной квалификационной работы.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварочных технологий при установке временных ремонтных конструкций на магистральные трубопроводы. В аналитическом разделе рассмотрена базовая технология, предусматривающая применение ручной дуговой сварки. В настоящий момент ручная дуговая сварка может, ранее получившая самое широкое распространение в различных отраслях промышленности, уступает свои позиции, что отмечается рядом отечественных и зарубежных аналитиков [10], [20], [21]. Замена ручной дуговой сварки происходит на механизированные и автоматические способы сварки, позволяющие повысить производительность и качество с учётом современных достижений в области управления сварочными процессами, которые реализованы в современном сварочном оборудовании, представленном на рынке. Проведенный анализ содержания источников научно-технической информации по рассматриваемому направлению исследования позволяет сформулировать задачи выпускной квалификационной работы. Первой задачей является обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии, которое следует сделать по результатам экспертной оценки рассматриваемых способов с анализом преимуществ и недостатков каждого способа. «Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки с привлечением достижений отечественных ученых-сварщиков в области управления переносом электродного металла. Третьей задачей является построение проектного технологического процесса, в ходе решения которой предстоит сформулировать перечень операций, сформулировать требования к выполнению каждой операции, назначить параметры режима и выбрать технологическое оборудование» [3]. Далее предстоит идентифицировать опасные и вредные факторы, выработать методики защиты от них [1], [6], выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений [14], [15].

2 Проектная технология установки ремонтной конструкции на магистральном трубопроводе

2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии

В соответствии с методическими рекомендациями [34], [36] при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии изготовления сварных конструкций следует руководствоваться рядом критериев и сходных условиях. Первым условием является материал и толщина свариваемых заготовок, которые определяют применить того или иного способа сварки и свариваемость конструкции. Вторым критерием является геометрия и пространственное положение сварного шва, что определяет возможность применения автоматизированных способов сварки. При выборе способа сварки необходимо предпочтение отдавать автоматизированным и механизированным способам, позволяющим повысить производительность труда на предприятии. Далее необходимо рассмотреть преимущества и недостатки каждого способа сварки и принять решение о целесообразности применения при изготовлении сварной конструкции.

Так как при рассматриваемой конструкции изготавливается из стали 17Г1С, которая хорошо сваривается всеми способами сварки, то ограничения по выбору способа сварки нет. Применительно к рассматриваемой толщине, которая составляет 14 мм, могут быть эффективно применены такие способы сварки, как ручная дуговая сварка, механизированная сварка в защитных газах, сварка самозащитной проволокой, автоматическая сварка под флюсом.

Так как в работе рассматривается случай выполнения прямолинейного сварного шва, то применение автоматической сварки под флюсом должно быть рассмотрено в числе альтернативных способов сварки.

В базовом варианте технологии применяется ручная дуговая сварка, схема выполнения которой представлена на рисунке 17. Этот способ сварки следует признать наиболее универсальным, до недавнего времени он являлся самым распространенным способом при изготовлении металлических конструкций. В числе преимуществ этого способа сварки следует указать высокую универсальность способа и относительную дешевизну применяемого оборудования. Кроме того, оборудование для ручной дуговой сварки уже имеется в достаточном количестве на каждом предприятии, и его применение не вызывает вопросов, а приобретение новых навыков при построении технологического процесса сварки не требуется. Рядом аналитиков рынка сварочных технологий и материалов [10], [20] отмечается повсеместная замена ручной дуговой сварки более производительными механизированными и автоматическими способами сварки. Это происходит по причине недостатков ручной дуговой сварки, которые могут иметь принципиальное значение при построении технологических процессов в современном производстве.

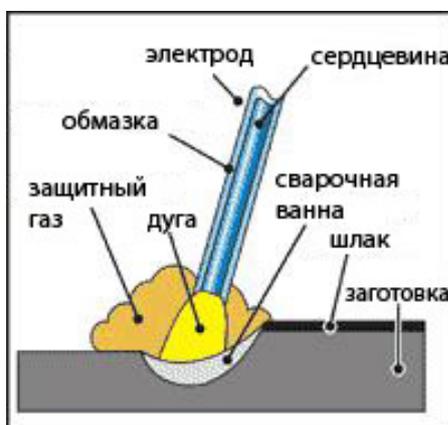


Рисунок 17 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

«Более высокой производительностью обладает механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 18. При сварке не происходит образования шлаковой корки, что упрощает проведение многослойной сварки. Кроме того, низкая текучесть расплавленного металла позволяет проводить сварку в различных пространственных положениях. Применение механизированной

сварки в защитных газах позволяет существенно улучшить условия труда сварщика. Однако следует указать на тот факт, что до настоящего времени не удалось полностью устранить затруднения, которые возникают вследствие особенностей сварки в защитных газах» [42]. Первым затруднением является необходимость применения газовой аппаратуры, которая ограничивает мобильность сварщика. Вторым затруднением следует указать низкую пространственную стабильность сварочной дуги и усиление разбрызгивания при переходе на форсированные режимы сварки. В качестве третьего затруднения следует указать недостаточную текучесть расплавленного металла, по причине которой возможно образование несплавлений в многослойных швах. В настоящее время в мире ведутся интенсивные разработки в области управления переносом металла при сварке в защитных газах. Первым направлением является разработка газовых смесей, применение которых позволяет существенно расширить технологические возможности сварочной дуги за счёт повышения пространственной стабильности и снижения разбрызгивания. Вторым направлением является применение устройств импульсной подачи электродной проволоки. Третьим направлением является импульсное управление электрическими процессами при горении сварочной дуги и переносе электродного металла [25], [26].

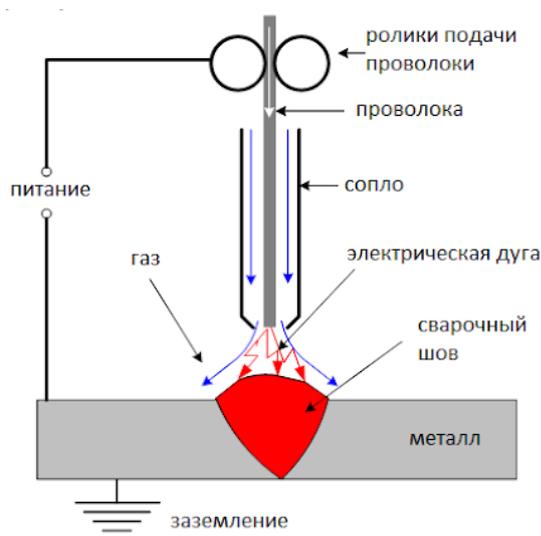


Рисунок 18 – Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Существенного улучшения производительности и качества по сравнению с ручной дуговой сваркой можно добиться за счёт применения механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой, схема выполнения которой представлена на рисунке 19. Этот способ сварки следует признать перспективным, так он обладает значительным потенциалом по стабильности качества и производительности [28], [43]. Применение порошковой проволоки позволяет повысить мобильность сварщика за счёт отказа от использования газового оборудования. Так как при сварке порошковой проволокой улучшается защита зоны сварки, её можно рекомендовать для проведения работ на открытом воздухе. Производительность сварки с применением порошковой проволоки также повышается по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения. Применение сварки порошковой проволокой позволяет вести сварку с узкой разделкой кромок, что существенно повышает производительность процесса и позволяет экономить сварочные материалы. Однако ряд недостатков способа ограничивает его применение. Первым недостатком является увеличение опасности образования шлаковых включений и пор, который присущ сварке порошковой проволокой. Вторым недостатком является повышенная гибкость и мягкость порошковой проволоки, по причине которой возникают заломы и застревание проволоки в механизме подачи. Также следует отметить неравномерное расплавление проволоки по сечению, что становится причиной просыпания шихты в сварочную ванну.

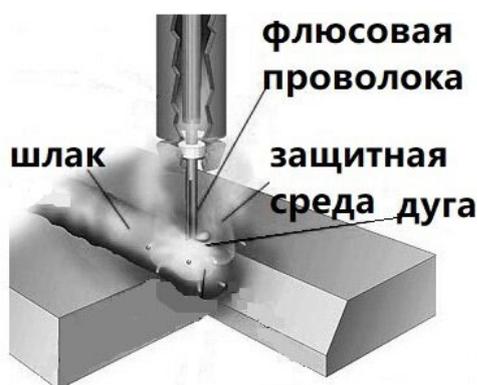


Рисунок 19 – Схема механизированной сварки порошковой самозащитной проволокой

По сравнению с перечисленными способами сварки автоматическая сварка под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 20, обладает самой высокой производительностью. Сварочная дуга горит под слоем флюса, что позволяет существенно снизить вредные излучения и выделения при горении сварочной дуги. Также при автоматической сварке под флюсом устраняется проблема разбрызгивания электродного металла, сварной шов характеризуется самым высоким качеством и хорошим внешним видом. Несмотря на перечисленные неоспоримые преимущества автоматической сварки под флюсом, её применение в промышленности ограничивается рядом недостатков. «Первым недостатком является необходимость борьбы с осыпанием флюса при сварке в пространственном положении, отличном от нижнего. Вторым недостатком является сложность оборудования для сварки, которое не такое универсальное, как оборудование для ручной дуговой сварки. Третьим недостатком следует указать текучесть шлака, по причине которой возможно образование шлаковых включений. Четвертым недостатком является повышенная текучесть расплавленного металла, которая заставляет повышать требования к сборке соединения» [11].

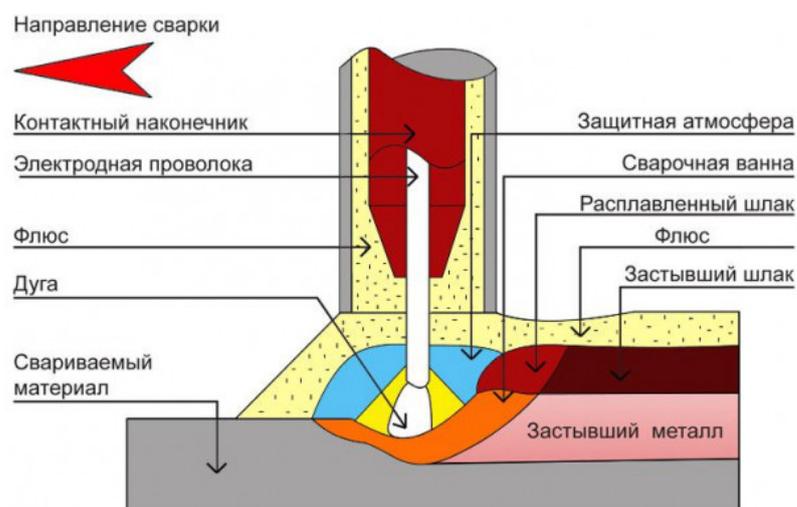


Рисунок 20 – Схема выполнения автоматической сварки под флюсом

На основании всего вышеизложенного для построения проектной технологии предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, для которой следует предусмотреть решения по расширению технологических возможностей способа.

2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

В настоящее время мировыми и российскими исследователями ведутся интенсивные разработки в области повышения эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. На рынке сварочной техники представлены источники питания, реализующие предлагаемые решения, которые были доведены до промышленного применения. Существенный прогресс достигнут в области разработок источников питания с импульсной подачей сварочной проволоки [17], [24], что позволяет существенно уменьшить разбрызгивание электродного металла при сварке и повысить производительность работ. Кроме того, импульсная подача проволоки позволяет уменьшить её выгорание, это не только снижает расход сварочных материалов, но и повышает эффективное КПД сварки, что отвечает современным представлениям в области повышения энергоэффективности технологических процессов. Вторым направлением, которое успешно развивается, является разработка защитных газовых смесей [45]. В настоящее время успешно применяются такие смеси, как «аргон + углекислый газ», «аргон + кислород + углекислый газ» и множество других смесей. Третьим направлением является построение систем импульсного управления сварочной дугой, которое реализовано на оборудовании от современных производителей.

Следует отметить существенное вложение в изучение импульсных процессов, которое сделали российские исследователи-сварщики [9], [13], [18], [47], [49], [50]. С учётом мирового и отечественного опыта в области модернизации сварочного оборудования могут быть предложены решения, применение которых позволиткратно повысить эффективность уже используемого сварочного оборудования и существенно расширить его технологические возможности.

Выполняли экспериментальную наплавку с применением представленного на рисунке 21-а источника импульсного питания Invertec STT, оснащенного представленным на рисунке 21-б механизмом подачи проволоки LF-33. Выполняли наплавку на пластину толщиной 6 мм из стали СтЗпс. Наплавку вели проволокой диаметром 1,2 мм состава Св-08ГСМТ. Силу сварочного тока варьировали в диапазоне 100...140 А.



а)



б)

Рисунок 21 – Применяемое для сварки оборудование: источник питания Invertec STT (а) и механизм подачи LF-33 (б)

При выполнении наплавки применяли четыре варианта режимов. В первом случае в качестве защитного газа применялся чистый углекислый газ. Импульсное управление подачей сварочной проволокой и горением сварочной дуги не выполнялась, т.е. наплавка велась стационарной дугой. Во втором варианте в качестве защитного газа была применена смесь в составе 30 % углекислого газа и 70 % аргона. Наплавка велась стационарной дугой без применения импульсного управления. В третьем варианте наплавку вели в чистом углекислом газе с импульсным управлением сварочной дугой. В четвертом варианте применяли импульсное управление сварочной дугой и защитную газовую смесь из 30 % углекислого газа и 70 % аргона.

Как показали результаты анализа химического состава наплавленного металла, представленные на рисунке 22, наплавка с применением импульсного процесса позволяет существенно уменьшить выгорание марганца и кремния.

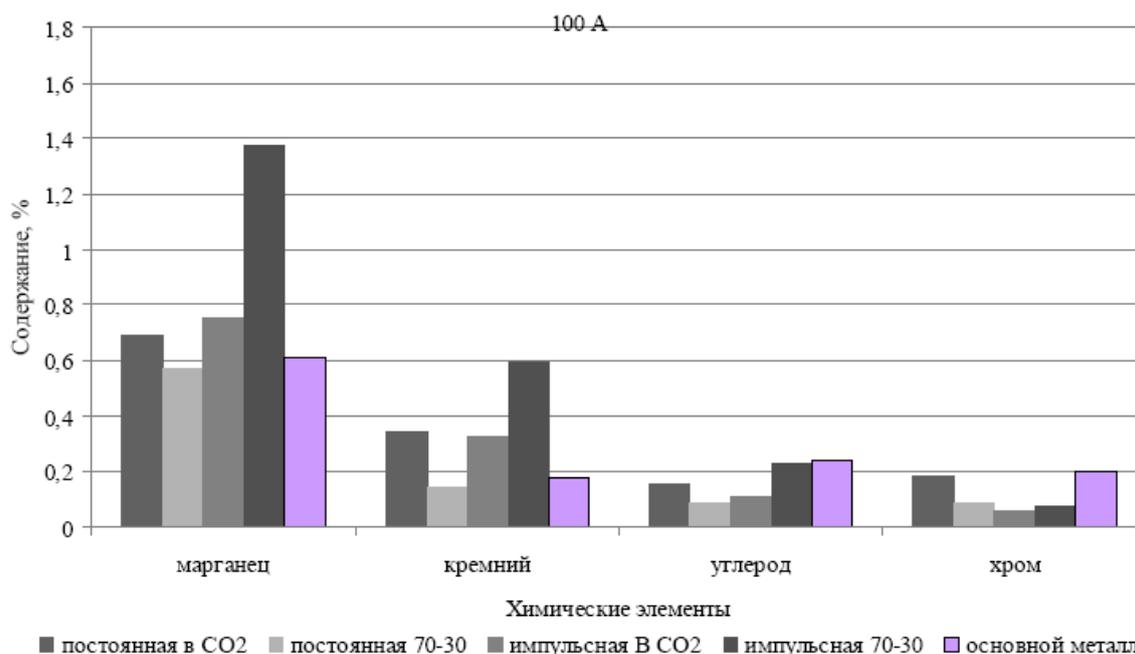


Рисунок 22 – Содержание химических элементов в наплавленном металле при различных способах наплавки

Таким образом, экспериментально установлено положительное влияние импульсных режимов на свойства металла сварного шва. Кроме того, применение защитной газовой смечи в составе 30 % углекислого газа и 70 % аргона также позволяет повысить качество сварного соединения.

2.3 Особенности операций проектного технологического процесса

Перед выполнением сборки и сварки следует провести допуск сварщиков к выполнению операций, проверяется наличие у сварщика аттестации и допуска на проведение работ. Все применяемые сварочные материалы и заготовки должны иметь сертификаты, которые подтверждают высокое качество сварочных испытаний. Перед проведением работ проверяется состояние сварочного оборудования, которое должно быть снабжено соответствующими документами о результатах проверки состояния. Все собираемые полумуфты должны иметь заводскую маркировку.

К сварочной проволоке предъявляются следующие требования. На сварочный участок проволока поступает намотанная «на кассеты со склада, где хранение проводилось при температуре не ниже +15 °С в закрытом помещении с относительной влажностью не более 80 %. Каждая кассета проволоки должна иметь маркировку, выполненную с применением несмываемой краски. Намотка проволоки на кассеты должна быть выполнена без перегибов. В зависимости от условия поставки проволока может быть полированной, осветленной или омедненной.

При сварке применяется проволока SuperArc L-56 диаметром 1,14 мм, содержание химических элементов в которой представлено в таблице 3. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности» [3]. Параметры режима сварки представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в сварочной проволоке SuperArc L-56

C	Mn	Si	S	P	Cu
0,05...0,15 %	1,40...1,85 %	0,80...1,15 %	< 0,035 %	< 0,025 %	до 0,50 %

Таблица 4 – Параметры режима импульсной сварки проволокой SuperArc L-56 диаметром 1,14 мм

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

С применением дефектоскопического контроля определяют положение дефектного места на ремонтируемом участке магистрального трубопровода. Далее проводят его очистку от остатков изоляционного покрытия. С применением пневматической шлифовальной машинки и проволочной щетки выполняют очистку дефектной зоны до металлического блеска. После того, как была проведена очистка дефектной зоны, возможно уточнение характера и размеров дефектов, для чего могут применяться средства визуального,

ультразвукового и рентгеновского контроля. «Для определения остаточной толщины стенки трубы применяется ультразвуковой толщиномер.

При установке муфты не допускается расположение сварных швов над дефектом стенки трубы. Расстояние от кольцевого шва ремонтной муфты до патрубков на трубопроводе не должно быть менее 100 мм. Также следует обеспечить минимальное расстояние от кольцевого шва трубопровода до торца ремонтной муфты, которое не должно быть менее 100 мм.

Перед установкой полумуфт на трубопроводе проводят зачистку их поверхности в зоне кромок на ширину не менее 20 мм как с внутренней, так и с наружной стороны. Зачистку выполняют с применением пневматической шлифовальной машины и проволочного круга.

Установку полумуфт на трубопровод выполняют с применением подъёмной техники и специальной оснастки.

Перед выполнением прихватки и сварки проводят предварительный локальный подогрев до температуры 100...150 °С при помощи пламени газовой горелки» [2].

Для выполнения прихваточных швов следует привлекать двух сварщиков, «каждый сварщик располагается по разные стороны от трубы и ведет сварку параллельно другому сварщику. Прихватки накладывают длиной 50...70 мм. расстояние между прихватками составляет порядка 500 мм. На один продольный шов должно быть выполнено не менее трех прихваток» [2]. Каждую прихватку следует проверить на наличие дефектов визуально. Не допускается наличие трещин, непроваров, надрывов. В противном случае прихватку следует полностью удалить и заварить заново.

Далее в начале и конце продольных швов приваривают входные и выходные планки, которые представляют собой пластины из стали Ст 3 толщиной 3...5 мм длиной не менее 40 мм.

Перед возбуждением дуги следует в течение нескольких секунд обдуть газом зону сварки. При сварке следует поддерживать расстояние между деталями и соплом горелки не более 25 мм, так как в противном случае

нарушается газовая защита. При сварке не следует резко обрывать дугу, если обрыв произошёл, следует зачистить участок шва на расстоянии 15 мм от места обрыва, возбудить дугу на ранее сваренном зачищенном участке, тщательно заплавить кратер и продолжить сварку. При окончании процесса сварки следует сначала заплавлять кратер, а затем обрывать дугу, при этом необходимо продолжать обдув зоны сварки защитным газом до потемнения металла. На рисунке 23 представлена последовательность выполнения сварочных валиков, при этом каждый сварочный валик после наложения должен быть тщательно осмотрен и проверен на отсутствие трещин, несплавлений, прожогов и наплывов. Если в ходе визуального контроля были обнаружены недопустимые дефекты, сварка прекращается и возобновляется только после полного механического удаления дефекта.

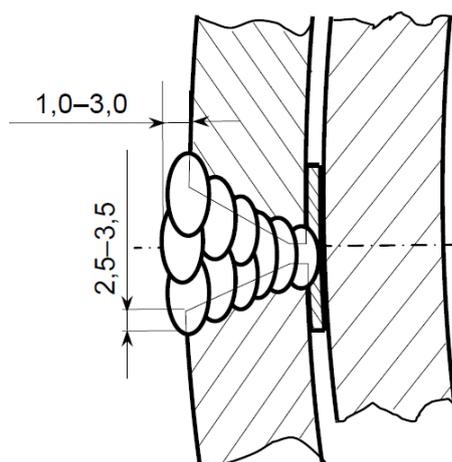


Рисунок 23 – Последовательность выполнения сварочных валиков

Объем визуального и измерительного контроля составляет 100 %. Проверяется соответствие формы сварного шва требованиям нормативной документации, отсутствие наплывов металла, трещин. «Не допускаются единичные поры размером более 2 мм, вогнутость корневого слоя шва, подрезы более 2 мм. Не допускается наличие незаваренных кратеров.

Объем ультразвукового контроля 30 %. В ходе его выполнения проверяется отсутствие непроваров и несплавлений между слоями, скоплений пор и единичных пор размером более 1 мм, шлаковых включений» [2]. Ультразвуковой контроль проводится согласно ГОСТ 14782.

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

В предыдущих разделах настоящей выпускной квалификационной работы решены задачи обоснования выбора способа сварки и построения технологии сварки магистрального трубопровода с применением временной ремонтной конструкции. При реализации операций технологического процесса работники подвергаются воздействию негативных производственных факторов, которые могут стать причиной резкого ухудшения состояния (опасные факторы) или привести к возникновению у работника профессиональных заболеваний (вредные факторы).

Кроме того, сварочное производство предполагает наличие электрической дуги, которая характеризуется высокой температурой и интенсивным излучением, что становится причиной возникновения пожаров, которые могут привести к значительным людским и материальным потерям, поэтому в настоящем разделе выпускной квалификационной работы также следует рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности.

Современное производство характеризуется бережным отношением к окружающей среде, следование мировой экологической повестке заставляет повышать требования к технологическим процессами по снижению негативной нагрузки на природу, таким образом, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы предстоит затронуть вопросы экологической ответственности предприятия при выполнении проектной технологии ремонтной сварки трубопровода. Таким образом, начинать идентификацию негативных производственных факторов следует с определения особенностей выполнения операций проектного технологического процесса. Анализ проектной технологии восстановительной наплавки представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Зачистка дефектного участка»	Слесарь-сборщик	- машинка шлифовальная	- круг абразивный
Уточнение параметров и границ дефекта	Дефектоскопист рентгенографирования	- аппарат рентгеновского контроля Арина-5	радиографическая плёнка
Установка муфты	Слесарь-сборщик	- сборочное устройство, - шаблон сварщика	- круг абразивный
Сварка продольных швов	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- сварочный источник питания, - полуавтомат, - машинка шлифовальная	- сварочная проволока, - защитный газ, - круг абразивный
Контроль качества» [2]	Дефектоскопист рентгенографирования	Аппарат рентгеновского контроля	радиографическая плёнка

Проектный технологический процесс укрупненно предусматривает последовательное выполнение пяти операций. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал, приведенный во втором столбце таблицы 5, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 5. Также для выполнения операция могут потребоваться расходные материалы, которые приведены в четвертом столбце таблицы 5. Таким образом, проектный технологический процесс условно разбивается на шесть операций, особенности кадрового и технического обеспечения выполнения которых представлены в таблице 5. На основании представленных данных может быть проведена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду. Далее следует предложить технические средства и организационные предприятия, которые позволят нейтрализовать действие идентифицированных негативных производственных факторов.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Источниками негативных производственных факторов при выполнении проектной технологии является применяемое технологическое оборудование, свариваемые элементы, сварочная дуга. В таблице 6 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

Таблица 6 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
«Зачистка дефектного участка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части
Уточнение параметров и границ дефекта	производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
Установка муфты	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
Сварка продольных швов	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
Контроль качества» [2]	- радиоактивное излучение; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Таким образом, для последующего анализа выделено восемь негативных производственных факторов. Представленные в таблице 6 негативные факторы не являются новыми и успешная нейтрализация может быть обеспечена стандартными техническими средствами и методиками, находящимися в резерве промышленного предприятия.

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

В таблице 7 представлены технические средства и организационные мероприятия, проведение которых позволяет нейтрализовать действие рассматриваемых негативных производственных факторов или выполнить снижение их воздействия на персонал до приемлемого уровня.

Таблица 7 – Устранение профессиональных рисков

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора
«острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	инструктаж персонала перед допуском к работе; предупреждающая окраска, таблички; ограждение; информационные плакаты
движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	защитное отключение оборудования, ограждение, концевые выключатели на оборудовании, информационные плакаты, инструктаж персонала
повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха, общеобменная вентиляция
повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	«организация и периодический контроль защитного заземления, контроль изоляции, установка устройств защитного отключения, инструктаж персонала, информационные плакаты» [6]
повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	инструктаж персонала, таблички, ограждение, информационные плакаты
инфракрасное излучение в рабочей зоне	защитные экраны, ограждение
ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне	защитные экраны, ограждение
радиоактивное излучение в рабочей зоне» [6]	защитные экраны, ограждение, ограничение времени работы

На основании анализа состава таблицы 6 можно заключить, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. В качестве средств индивидуальной защиты предлагается применить специальную одежду, перчатки, защитную маску, резиновые диэлектрические коврики, защитные очки, средства индивидуальной защиты органов дыхания.

Особое внимание следует уделить проведению инструктажа с работниками предприятия по вопросам электробезопасности и соблюдения дисциплины на рабочем месте. В значительном количестве случаев причиной внештатных ситуаций на производстве становится не выход из строя технологического оборудования, а именно нарушение производственной дисциплины, соблюдение которой персоналом должно быть доведено до автоматизма. Также следует принимать во внимание необходимость содержания в порядке рабочего места, что положительно влияет на производственную дисциплину.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса предполагает применение сварочных и наплавочных работ, которые характеризуются повышенной опасностью возникновения пожаров на предприятии. Работы по сварке сопряжены с применением источников нагрева высокой интенсивности, воздействие которых на окружающие предметы могут вызвать возгорание. Кроме того, применение электрической аппаратуры, работа которой предусматривает протекание значительного тока, также становится потенциальным источником возникновения пожара. В таблице 8 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 8 – Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	Участок ремонтной сварки трубопровода
«Наименование оборудования»	Оборудование по подготовке поверхности и заготовок, сборочные приспособления, сварочное оборудование, термическое оборудование, аппаратура контроля
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	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [6]	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке

На основании проведенного анализа производственного участка возникающий на нем пожар следует отнести к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В таблице 9 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 9 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«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» [6]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения;

затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. При обеспечении пожарной безопасности особое внимание следует уделить подготовке персонала предприятия, от квалифицированных действий которого зависит возникновение пожара и его последствия. Персонал должен быть обучен тому, как предупредить возникновение пожара, вовремя обнаружить возникшее возгорание, провести тушение возгорания первичными средствами пожаротушения, сигнализировать о возгорании и грамотно провести эвакуацию с производственного участка.

3.5 Экологическая безопасность

Помимо негативного воздействия на персонал предприятия и пожарной опасности сварочное производство характеризуется негативным влиянием на окружающую среду, так как является источником антропогенных факторов. Современное промышленное производство, в связи с этим, обязано решать не только задачи, связанные с обеспечением безопасности труда, но и вопросы разумного природопользования. В настоящем разделе выпускной квалификационной работы затронуты вопросы защиты основных составляющих природной компоненты – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 10. Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства. Следует выделить селективный сбор мусора, который не требует значительных затрат, но позволяет существенно повысить экономическую эффективность производства за счёт вторичного использования материалов.

Таблица 10 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [1]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [1]
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» [1]

Выводы по экологическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы была проведена идентификация негативных производственных факторов, действующих на персонал предприятия при реализации проектной технологии на рассматриваемом производственном участке. Предложены меры по нейтрализации опасных и вредных производственных факторов, представляющие набор стандартных методик и технических средств из резерва предприятия. Также была рассмотрена опасность возникновения пожара на предприятии, для устранения которой предусмотрены соответствующие средства.

Кроме того, были рассмотрены негативные воздействия производства на окружающую среду и предложены мероприятия по обеспечению экологической ответственности и грамотности.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе методики и средства являются стандартными и имеются в резерве предприятия. Разработки специальных средств и методик для защиты персонала и окружающей среды не требуется.

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных операция при ремонте магистральных трубопроводов с применением временных ремонтных конструкций типа муфты. Применение ручной дуговой сварки при построении технологии сопряжено с возникновением ряда недостатков, которые становятся критичными для современного предприятия, что заставляет искать замену этому способу сварки среди автоматических и механизированных способов, что отмечается рядом аналитиков. В проектной технологии на основании анализа источников научно-технической информации предлагается применить механизированную сварку в защитных газах с импульсным управлением переносом электродного металла. Импульсный характер горения дуги и переноса электродного металла позволяет вести сварку без разбрызгивания с получением мелкой чашуйчастости сварного шва. Кроме того, улучшаются условия формирования сварного шва – снижается пористость и измельчается структура наплавленного металла. Экономические расчёты предлагается вести на основании исходных данных, которые представлены в таблице 11. В проектной технологии удаётся устранить выявленные недостатки базовой технологии и повысить производительность работ. За счёт повышения производительности труда ожидается уменьшение величины основных составляющих технологической, цеховой и заводской стоимости выполнения работ. При этом показатели экономической эффективности будут рассчитаны по известным методикам, на основании чего будет сделан вывод о целесообразности внедрения в производство предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

Таблица 11 – Исходные данные для экономического обоснования

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

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [14].

4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени F_H и эффективного фонда рабочего времени F_3 , который отличается от фонда рабочего времени s по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени B . Для расчётов принимается $B=7\%$.

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен $K_{см}$ и количество рабочих дней в году D_p , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем $K_{см}=1$ и $D_p=277$. С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве $D_{п}=7$ дней, в эти дни на величину $T_{п}=1$ час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным $B = 7\%$, таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

$$F_3 = F_H(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени $F_3 = 2054$ часов.

4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени $t_{шт}$. Для расчета величины штучного времени $t_{шт}$ необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как $t_{маш}$ – машинное время. Вспомогательное время $t_{всп}$ является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять $t_{всп} = 0,1t_{маш}$. На обслуживание рабочего места расходуется время $t_{обсл}$, для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$ » [14]. На личный отдых работника затрачивается время $t_{отд}$, для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять $t_{отд} = 0,05t_{маш}$. На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$. Таким образом, расчёт штучного времени для базового $t_{шт.баз}$ и проектного $t_{шт.проектн.}$ вариантов технологии составит:

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

$$t_{шт.баз} = 1,71 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 3 \text{ часа}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,75 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1 \text{ часа}$$

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы P_g , значение которой зависит от штучного времени $t_{шт}$ и эффективного фонда времени $F_э$, расчёт годовой программы выполняется по формуле

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

«Согласно (4) были получены для базового варианта $П_{\Gamma} = 2054/3 = 685$ дефектов за год, для проектного варианта $П_{\Gamma} = 2054/1 = 2054$ дефектов за год.

С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать $П_{\Gamma}=500$ дефектов в год.

С учётом годового эффективного фонда времени $F_{\text{э}} = 2054$ часов, годовой программы $П_{\Gamma} = 500$, коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}} = 1,03$, штучного времени $t_{\text{шт}}$ количество оборудования рассчитывается как» [14]

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

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 3$ часа, $n_{\text{расч.}} = 2 \cdot 500 / (2054 \cdot 1,03) = 0,7$, при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 1$ час, $n_{\text{расч.}} = 1 \cdot 500 / (2054 \cdot 1,03) = 0,2$. При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте $n=1$. Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки $K_{\text{з}}$ следующим образом

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

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен $K_{\text{з}} = 0,7/1 = 0,7$, для проектного варианта коэффициент загрузки равен $K_{\text{з}} = 0,2/1 = 0,2$. Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_{ТЗ} = 1,05$, нормы расхода N_p и цены C_M материалов:

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

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем $M_{баз.} = 300 \cdot 0,5 \cdot 1,05 = 158$ руб. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет $M_{баз.} = (200 \cdot 0,4 + 10 \cdot 12) \cdot 1,05 = 210$ руб.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени $t_{шт}$, и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет $C_ч = 200$ рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_d = 1,88$. Таким образом, для проектной и базовой технологии:

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

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 3$ часа, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы $Z_{осн} = 3 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1128$ рублей; для проектного варианта

построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 1$ час, согласно (8) основная заработная плата $Z_{осн.} = 1 \cdot 200 \cdot 1,88 = 376$ рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата $Z_{доп.}$, для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит $K_{доп.} = 0,12$. Величина $Z_{доп.}$ пропорциональна основной заработной плате $Z_{осн.}$:

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн.} = 1128$ рублей, поэтому согласно (9) $Z_{доп.} = 1128 \cdot 12/100 = 135$ рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн.} = 376$ рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата $Z_{доп.} = 376 \cdot 12/100 = 45$ рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной $Z_{осн.}$ и дополнительной $Z_{доп.}$ заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП = $1128 + 135 = 1263$ рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП = $376 + 45 = 421$ рублей.

Размер отчислений на социальные нужды $O_{сн.}$ пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{сн.} = 0,34$, с учётом которого:

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

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 1263 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды $O_{сн.} = 1263 \cdot 34/100 = 420$ рублей. Для проектного варианта

технологии ранее получено $\PhiЗП = 421$ рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды $O_{сн.} = 421 \cdot 34 / 100 = 143$ рублей.

Амортизационные отчисления $A_{об}$ являются составляющими затрат на оборудование $Z_{об}$ и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается $N_a = 21,5\%$: эффективного фонда времени $F_э$, стоимости оборудования $\Pi_{об}$, которое для базового варианта составляет $\Pi_{об} = 80000$ рублей, для проектного варианта $\Pi_{об} = 250000$ рублей; машинного времени $t_{маш}$, которое для базового варианта составляет $t_{маш} = 3$ часа, для проектного варианта $t_{маш} = 1$ час.

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

«Для базового варианта технологии согласно (10) $A_{об} = 80000 \cdot 21,5 \cdot 3 / 2054 / 100 = 25$ рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10) $A_{об} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 1 / 2054 / 100 = 26$ рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование $Z_{об}$ являются затраты на электрическую энергию $P_{ээ}$. Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии $\Pi_{ээ}$, которая для рассматриваемого варианта принимается $\Pi_{ээ} = 3,2$ руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени $t_{маш}$ и установленной мощности оборудования $M_{уст}$.

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (12)$$

Согласно (12) для базового варианта $P_{ээ} = 12 \cdot 3 \cdot 3,2 / 0,7 = 165$ рублей. Согласно (12) для проектного варианта $P_{ээ} = 70 \cdot 1 \cdot 3,2 / 0,85 = 263$ рублей.

Затраты на оборудование $Z_{об}$ являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных $A_{об}$ и $P_{ээ}$,» [14]:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (13)$$

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии $Z_{об.} = 25 + 165 = 190$ рублей, для проектного варианта технологии $Z_{об} = 26 + 263 = 289$ рублей.

Технологическая себестоимость $C_{\text{тех}}$ является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте $\PhiЗП = 1263$ рублей, в проектном варианте $\PhiЗП = 421$ рублей), затрат на материалы (в базовом варианте $M = 158$ рублей, в проектном варианте $M = 210$ рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте $O_{\text{сс}} = 420$ рублей, в проектном варианте $O_{\text{сс}} = 143$ рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте $З_{\text{об}} = 190$ рублей, в проектном варианте $З_{\text{об}} = 289$ рублей), затрат на площади (в базовом варианте $З_{\text{пл}} = 78$ рублей, в проектном варианте $З_{\text{пл}} = 42$ рубля). Таким образом:

$$C_{\text{тех}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} + З_{\text{пл}}. \quad (14)$$

«По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта $C_{\text{тех}} = 158 + 1263 + 420 + 190 + 78 = 2109$ рублей, для проектного варианта себестоимость составляет $C_{\text{тех}} = 210 + 421 + 143 + 289 + 42 = 1105$ рублей.

Расчёт цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ ведется с учётом основной заработной платы $З_{\text{осн}}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}} = 1,5$:

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии $C_{\text{цех}} = 2109 + 1,5 \cdot 1128 = 2109 + 1692 = 3801$ рублей, для проектного варианта $C_{\text{цех}} = 1105 + 1,5 \cdot 376 = 1105 + 564 = 1669$ рублей.

Расчёт заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ ведется с учётом основной заработной платы $З_{\text{осн}}$ и коэффициента заводских расходов $K_{\text{зав}} = 1,15$:

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

Согласно (16) $C_{\text{зав}} = 3801 + 1,15 \cdot 1128 = 3801 + 1297 = 5098$ рублей для базовой технологии и $C_{\text{зав}} = 1669 + 1,15 \cdot 376 = 1669 + 432 = 2101$ рублей для проектной технологии» [14].

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 12, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 24.

Таблица 12 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы»	М	158	210
2. Фонд заработной платы	ФЗП	1263	421
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	420	143
4. Затраты на оборудование	Зоб	190	289
5. Затраты на площади	Зпл	78	42
5. Технологическая себестоимость	С _{тех}	2109	1105
6. Цеховые расходы	Р _{цех}	1692	564
7. Цеховая себестоимость	С _{цех}	3801	1669
8. Заводские расходы	Р _{зав}	1297	432
9. Заводская себестоимость» [14]	С _{зав}	5098	2101

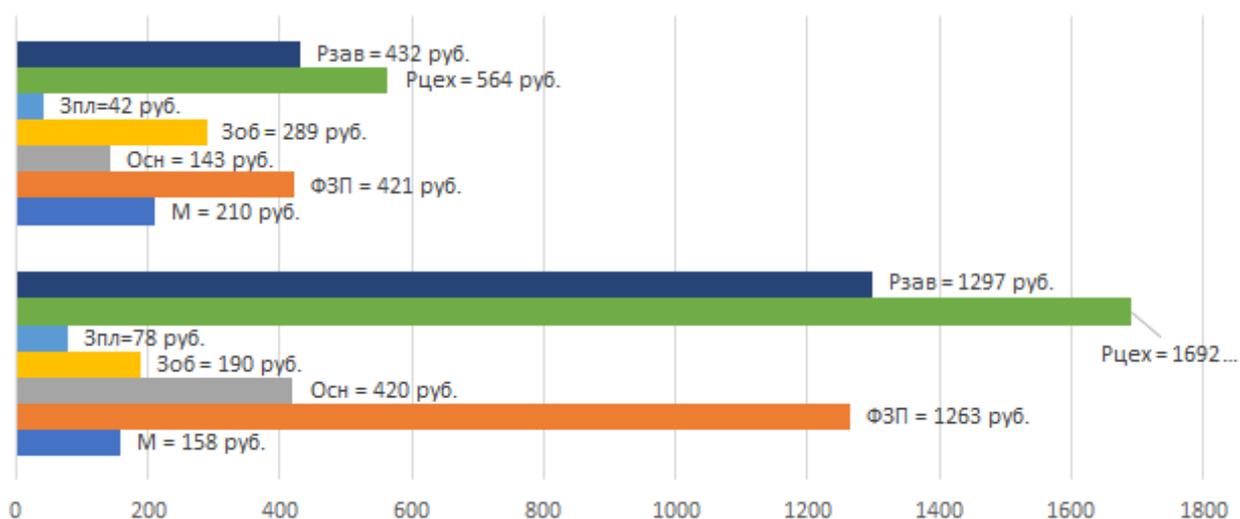


Рисунок 24 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений. При этом ожидаемый экономический эффект достигается за счёт уменьшения фонда заработной платы, цеховых и заводских расходов.

4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования $\Pi_{об.б.}$ определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается $T_c = 3$ года, и цены нового оборудования на рынке $\Pi_{перв.}$, которая принимается $\Pi_{перв.} = 80000$ рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a = 21,5 \%$. Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

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

Согласно (17) $\Pi_{об.б.} = 80000 - (80000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 28400$ рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,7$, с учётом которого для остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.} = 28400$ рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 28400 \cdot 0,7 = 19880 \text{ рублей.} \quad (18)$$

«Для расчета размеров капитальных затрат $K_{общ.пр.}$ по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади $K_{пл.пр.}$, капитальных затрат на оборудование $K_{об.пр.}$ и сопутствующих затрат $K_{соп}$ » [14]:

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

«Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования $\Pi_{об. пр.} = 250000$ рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов $K_{тз} = 1,05$ и коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,2$. Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$:

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

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет $K_{об.пр} = 250000 \cdot 1,05 \cdot 0,2 = 52500$ рублей.

Сопутствующие капитальные затраты $K_{соп}$ рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования $P_{мон}$ и расходов на демонтаж оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии $P_{дем}$. Расчёты ведутся по формуле

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

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования $K_{дем} = 0,05$. С учётом ранее заданной цены оборудования $Ц_{об.б} = 80000$ рублей расходы на демонтаж $P_{дем}$ составят:

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д} = 80000 \cdot 0,05 = 4000 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования $Ц_{об. пр.}$ с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается $K_{мон} = 0,05$:

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м} = 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов $K_{соп}$ согласно (21) составляет $K_{соп} = 4000 + 12500 = 16500$ рублей.

Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.}$ согласно (19) составляет $K_{общ. пр.} = 52500 + 16500 = 69000$ рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.} = 69000$ рублей и капитальных затрат по базовой технологии $K_{общ. б.} = 19880$ рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты $K_{доп}$:

$$K_{доп} = K_{общ пр} - K_{общ б} = 69000 - 19880 = 49120 \text{ рублей}. \quad (24)$$

Удельные капитальные вложения $K_{уд}$ рассчитываются как отношение величины капитальных вложений $K_{общ}$ к годовой программе $\Pi_{Г}$ согласно формулы

$$K_{уд} = K_{общ} / \Pi_{Г} . \quad (25)$$

Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 19880/500 = 40$ руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 69000/500 = 138$ руб./ед.» [14].

4.6 Расчёт экономических показателей

Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений.

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$, которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта $t_{шт пр} = 1$ часа и штучного времени для базового варианта $t_{шт б} = 3$ часа:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (3-1) \cdot 100 \% / 3 = 67 \% . \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда $\Pi_{Г}$, рассчитываемая как

$$\Pi_{Г} = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 67 / (100 - 67) = 203 \% . \quad (27)$$

Следующим объективным показателем является снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$, которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии $C_{тех.б} = 2109$ рублей и себестоимости по проектной технологии $C_{тех.пр.} = 1105$ рублей:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б}} = (2109 - 1105) \cdot 100\% / 2109 = 48\% \quad (28)$$

Для расчёта условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам $C_{\text{зав.б}} = 5098$ рублей и $C_{\text{тех.пр.}} = 2101$ рублей. Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_{\Gamma} = (5098 - 2101) \cdot 500 = 1498500 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ рассчитывается для $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 1498500$ рублей по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 491200 / 1498500 = 0,1 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат $E_{\text{н}} = 0,33$. С учётом дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}} = 49120$ рублей и условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 1498500$ рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 1498500 - 0,33 \cdot 49120 = 1482290 \text{ рублей.} \quad (31)$$

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 1,499 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 67 %, производительности труда повышается на 203 %. Технологическая себестоимость снижается на 48 %. Годовой экономический эффект оценивается в 1,482 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

Заключение

В настоящей работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварочных технологий при установке временных ремонтных конструкций на магистральные трубопроводы. В аналитическом разделе рассмотрена базовая технология, предусматривающая применение ручной дуговой сварки. Недостатками базовой технологии является малая производительность, низкая стабильность качества, которая в значительной мере определяется квалификацией сварщика и его кондициями.

На основании проведенных литературных изысканий установлено, что построения проектной технологии могут быть рассмотрены следующие способы сварки: ручная дуговая сварка, механизированная сварка в защитных газах, сварка самозащитной проволокой, автоматическая сварка под флюсом. По результатам анализа преимуществ и недостатков каждого способа для построения проектной технологии принята механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Для расширения технологических возможностей сварки в защитных газах необходимо устранить её затруднения. Первым затруднением является необходимость применения газовой аппаратуры, которая ограничивает мобильность сварщика. Вторым затруднением следует указать низкую пространственную стабильность сварочной дуги и усиление разбрызгивания при переходе на форсированные режимы сварки. В качестве третьего затруднения следует указать недостаточную текучесть расплавленного металла, по причине которой возможно образование несплавлений в многослойных швах.

В ходе литературных исследований и проведенных испытаний установлено положительное влияние импульсных режимов на свойства металла сварного шва. Кроме того, применение защитной газовой смечи в составе 30 % углекислого газа и 70 % аргона также позволяет повысить качество сварного соединения.

Импульсный характер горения дуги и переноса электродного металла позволяет вести сварку без разбрызгивания с получением мелкой чашуйчастости сварного шва. Кроме того, улучшаются условия формирования сварного шва – снижается пористость и измельчается структура наплавленного металла.

Выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них.

На основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 67 %, производительности труда повышается на 203 %. Технологическая себестоимость снижается на 48 %. Годовой экономический эффект оценивается в 1,482 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

На основании вышеизложенного следует признать высокую эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических и организационных решений. Поставленная цель может считаться достигнутой.

Результаты работы предлагаются к внедрению на ремонтных предприятиях Российской Федерации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
2. Бут В. С., Олейник О. И. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 42–50.
3. Варламов Д. П., Дедешко В. Н., Канайкин В. А., Стеклов О. И. Повышение надежности магистральных газопроводов при использовании многократной внутритрубной дефектоскопии // Автоматическая сварка. 2012. № 3. С. 28–34.
4. Варламов Д. П., Канайкин В. А., Матвиенко А. Ф. Мониторинг дефектности магистральных газопроводов. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 120 с.
5. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
6. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
7. Гулаков С. В., Носовский Б. И. К вопросу построения модели сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 2002. № 9. С. 24–28.
8. Гумеров А. Г., Ямалеев К. М., Гумеров Р. С. Дефектность труб нефтепроводов и методы их ремонта. М. : Недра-Бизнесцентр, 1998. 253 с.
9. Князьков А. Ф., Федько В. Т., Крампит Н. Ю. Искусственная формирующая линия в силовой части модулятора ИРС-1200АДМ // Ремонт, восстановление, модернизация. 2003. № 12. С. 28-30.
10. Князьков А.Ф., Крампит Н.Ю., Крампит А.Г. Усовершенствование процесса сварки при модернизации оборудования // Ремонт, восстановление и модернизация оборудования. 2009. №9. С. 7-9.

11. 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.
12. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Крампит М. А. Сварка с импульсным питанием в углекислом газе при работе системы с обратными связями // Вестник науки Сибири. 2011. № 1. С. 715–721.
13. Крампит Н. Ю., Крампит А. Г., Князьков С. А. Особенности импульсного управления процессом сварки в CO_2 длинной дугой // Автоматизация и современные технологии. 2002. № 9. С. 12-15.
14. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
15. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
16. Ланге Б. С. Разработка методологии комплексной оценки качества магистральных трубопроводов в процессе строительного контроля : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва : Российской государственной университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2012.
17. Лебедев В. А. Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей сварочной проволоки // Сварочное производство. 2008. № 7 С. 10–14.
18. Лебедев В. А., Кузьмин С. А., Новгородский В. Г. Управление процессом механизированной сварки в углекислом газе с использованием параметров переноса электродного металла // Сварочное производство. 2002. № 5. С. 6-14.
19. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

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

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

22. Наумов, С.В. Разработка шлаковой основы для сварочных материалов из минерального сырья Урала: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2014.

23. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

24. Павлов Н. В., Крюков А. В., Зернин Е. А. Распределение температурных полей при сварке в смеси газов с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2011 №1 С. 35–36.

25. Патон Б. Е., Лебедев А. В. Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в углекислом газе // Автоматическая сварка. 1988. № 11. С. 1–5.

26. Патон Б. Е. Потапьевский А. Г., Подола И. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса // Автоматическая сварка. 1964. № 1. С. 1–6.

27. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34-42.

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

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

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

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

32. Сараев Ю. Н. Безбородов, В. П., Тютев А. В. Влияние режима сварки на формирование структуры и свойства сварных соединений // Обработка металлов. 2005. № 1. С. 25–26.

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

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

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

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

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

38. Трепова С. Ю., Безбородов В. П., Тютев А. В. Влияние режима импульсной сварки на структуру и свойства сварных соединений

марганцовистых сталей // Известия Томского политехнического университета. 2004. № 6. С. 102–104.

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

40. Шафигов Р. Р. Ремонт магистральных газопроводов с использованием сварочных и родственных технологий без остановки перекачки газа // Территория Нефтегаз. 2009. № 6. С. 80–83.

41. Шевченко А. А., Семенова Е. С., Шабурова Н. А. Определение причин низкой ударной вязкости кольцевого сварного шва // Вестник ЮУрГУ, серия «Металлургия». 2019. Т. 19. № 2. С. 63–70.

42. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 8–11.

43. 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.

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

45. Языков Ю. Ф., Алексина И. В. Преимущества сварки в защитных газовых смесях // Сварочное производство. 2008. № 9. С. 29–30.

46. Coules H.E., Colegrove P., Cozzolino L. D. High pressure rolling of low carbon steel weld seams: Part 2 - Roller geometry and residual stress // Science & Technology of Welding & Joining. 2013. № 1. P. 84–90.

47. Dilthy U., Reisinger U., Stenke V. Schutgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. 1995. № 2. P. 118–123.

48. Ficquet X., Smith D. J., Truman C. E., Kingston E. J. Measurement and prediction of residual stress in a bead-on-plate weld benchmark specimen // International Journal of Pressure Vessels & Piping. 2009. № 1. P. 20–30.

49. Lucas W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // Welding and Metal Fabrication. 1992. № 6. P. 269–276.

50. Vasantharaja P., Maduarimuthu V., Vasudevan M., Palanichamy P. Assessment of Residual Stresses and Distortion in Stainless Steel Weld Joints // Materials & Manufacturing Processes. 2012. № 12. P. 1376–1381.