

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

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

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

«Оборудование и технология сварочного производства»  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология и оборудование ремонтной подводной сварки

Студент

С.А. Артамонов  
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Л. Фёдоров  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологии подводной ремонтной сварки. Базовая технология предусматривает применением ручной дуговой сварки штучными электродами. Проектная технология подводной ремонтной сварки предусматривает применение механизированной сварки в защитном газе с применением мини-кессона.

Цель выпускной квалификационной работы - повышение производительности и качества подводной ремонтной сварки за счёт применения современных технологий.

В работе решались задачи: 1) анализ современной научно-технической информации по вопросу подводной ремонтной сварки; 2) предложить способ, оборудование и сварочные материалы для подводной ремонтной сварки; 3) составить проектную технологию подводной ремонтной сварки.

Решая первую задачу, выполнен поиск и анализ научно-технической информации по вопросу ремонтной подводной сварке произведён с использованием поисковой системы GOOGLE по ключевым словам «Автоматическая сварка», «Сварочное производство», «подводная сварка», «диссертация», «научная статья». Сформулированы основные направления по построению технологии подводной сварки.

Решая вторую задачу, был предложен способ подводной механизированной сварки в мини-кессоне. Решая третью задачу, была составлена проектная технология подводной ремонтной сварки.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,51 млн. рублей.

## Содержание

Введение .....	5
1 Анализ состояния вопроса .....	8
1.1 Общая информация о способе подводной сварки. ....	8
1.2 Базовая технология ремонтной сварки. ....	9
1.3 Анализ разновидностей подводной сварки. ....	11
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	18
2 Проектная технология подводной ремонтной сварки .....	20
2.1 Анализ современной научно-технической информации по вопросу подводной ремонтной сварки .....	20
2.2 Оборудование для подводной сварки. ....	21
2.3 Сварочные материалы .....	27
2.4 Технология подводной ремонтной сварки. ....	27
2.5 Контроль качества сварки .....	32
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений .....	35
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	35
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений .....	36
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	37
3.4 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений. ....	39
3.5 Заключение по разделу .....	40
4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений	41
4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов ..	41
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования .....	43
4.3 Расчет штучного времени .....	45

4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки . . .	48
4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам . . . . .	55
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений . . . . .	59
Заключение по экономическому разделу . . . . .	62
Заключение . . . . .	63
Список используемой литературы . . . . .	64

## Введение

Подводную сварку и резку в бывшем СССР начали применять с середины 1930-х гг. при ремонте подводных трубопроводов, а также при подъеме и восстановлении кораблей, получивших боевые и навигационные повреждения. Основным заказчиком на разработку этих технологических процессов и оборудования являлось Министерство обороны бывшего СССР. Работами в этом направлении занимались несколько организаций. В 1967 г. на базе ИЭС им. Е.О. Патона была сформирована группа, трансформировавшаяся затем в специализированную лабораторию по исследованию и разработке электродных материалов, технологических процессов и оборудования для различных способов сварки и резки под водой.

В настоящее время подводная ремонтная сварка находит применение в различных сферах хозяйства – она применяется при ремонте подводных трубопроводов, кораблей и судов, сооружений различного назначения [11, 12]. При этом всё большее распространение начинает получать механизированная подводная сварка мокрым способом, при котором в качестве сварочного материала используется порошковая самозащитная проволока. Для этого в ИЭС им. Е.О. Патона были разработаны специальные источники и проволоки [10].

Простота выполнения и оперативность делают привлекательным использование мокрой сварки в современном производстве [13, 14]. Однако при мокрой сварке возникает ряд трудностей металлургического характера. Осуществление технологии мокрой подводной сварки предполагает горение сварочной дуги в замкнутом объеме парогазового пузыря. Образование этого пузыря происходит за счет сгорания и испарения плавящихся электрода и изделия, а также продуктов диссоциации воды [2]. Парогазовый пузырь, образующийся при подводной сварке мокрым способом, имеет водородно-

кислородную атмосферу, которая вызывает окисление легирующих элементов и насыщает водородом металл сварочной ванны. Также в результате контакта с окружающей водой наблюдается ускоренное охлаждение сварного шва, в результате чего в сварных швах образуется значительное количество закалочных структур [15]. Это существенно повышает вероятность получения холодных трещин в сварных соединениях, что особенно опасно при подводной сварке низколегированных сталей повышенной прочности типа 17Г1С или Х60.

Условия образования сварного соединения при мокрой подводной сварке существенно отличаются от условий при сварке на воздухе или в газовой атмосфере. Жидкая среда, в которой проходит мокрая подводная сварка, отличается от газовой среды повышенной вязкостью и плотностью, практически несжимаемая. По сравнению с воздухом плотность воды больше примерно в 850 раз, теплопроводность – в 25 раз, а теплоемкость – в 4 раза [1]. При увеличении глубины проведения сварочных работ растёт и давление водяного столба. При горении под слоем воды, на сварочную дугу действует два вида сжатия: во-первых, на дугу действует гидростатическое давление столба жидкости, во-вторых, охлаждающее воздействие водорода [3]. Нарушение стабильности горения дуги происходит из-за охлаждения водой, действия повышенного давления, разложения водяных паров на составляющие газы [4, 5].

На стабильность горения дуги и перенос электродного металла через дуговой промежуток влияют режим сварки, конструкция и диаметр порошковой проволоки, характеристики источника питания, длина сварочной цепи и сечение кабеля, состав сердечника порошковой проволоки, а также воздействие водной среды (парогазового пузыря). Стабильное горение дуги под водой и получение мелкокапельного переноса электродного металла являются важнейшими составными частями комплекса мер по

улучшению процесса мокрой подводной сварки и получения качественных и плотных сварных швов.

Технология мокрой механизированной сварки является чрезвычайно удачным технологическим решением применительно к восстановлению практически всех видов металлоконструкций под водой. Незначительная масса оборудования, его компактность и надежность, быстрое освоение пользователями позволили выполнить большое количество работ как на территории России, так и за ее пределами [11, 12]

На основании вышеизложенного следует сделать вывод об актуальности темы выпускной квалификационной работы и её **цели**: повышение производительности и качества подводной ремонтной сварки за счёт применения современных технологий.

## **1 Анализ состояния вопроса**

### **1.1 Общая информация о способе подводной сварки**

Впервые в мировой практике подводную дуговую резку, а затем и сварку угольным электродом осуществили Н. Н. Бенардос и Д. А. Лачинов в 1887 г., поэтому история подводной сварки и резки по праву насчитывает более чем 125-летний период [23]. Однако необходимость более-менее систематического проведения подводно-технических работ возникла в конце 1940-х годов, когда, с одной стороны, началось активное освоение месторождений нефти на шельфе Каспия, а с другой – массовое строительство магистральных газо- и нефтепроводов с преодолением многочисленных водных преград в континентальной части России. Одновременно в послевоенный период возросла необходимость применения подводной сварки при восстановлении объектов народного хозяйства. Поэтому только с начала 1950-х годов подводная сварка стала по-настоящему значимым технологическим процессом соединения материалов в экстремальных условиях.



Рисунок 1.1 – Спуск водолаза-сварщика для проведения подводной ремонтной сварки



Примерами высокоэффективного применения подводной сварки являются уникальные работы по ремонту подводных переходов газо- и нефтепроводов, сооружению стационарных оснований и причалов, гидротехнических сооружений, ликвидации последствий повреждений корпусов судов без постановки их в док, разделке затонувших судов и расчистке прибрежных акваторий [24, 25].

## **1.2 Базовая технология ремонтной сварки**

Заварка раковин выполняется при толщине стенок трубы более 5 мм. При толщине менее 5 мм поврежденный участок следует перекрывать ремонтной муфтой.

При множественной коррозии на обширном участке поверхности трубы (среднем износе) выполняют общую наплавку поверхности для восстановления толщины стенки трубы.

Отдельные крупные раковины (оспины) лучше заваривать каждую в отдельности.

Так как выполнять сварочные работы в условиях плохой видимости и ограниченности движений водолазу-сварщику очень трудно, подготовка под сварку выполняется особенно тщательно.

Места сварки очищаются до металлического блеска от грязи, краски, ржавчины и масла. Свариваемые элементы по месту наложения шва тщательно пригоняются друг к другу с сохранением минимальных технологических зазоров.

Перед заваркой раковину необходимо зачистить проволочной щеткой до металлического блеска, удалить обрастание, грязь, жир и остатки ила. Затем раковину подрубают зубилом или подготавливают электрокислородной строжкой под сварку и заваривают. Каждый

последующий валик наплавляют после тщательной очистки проволочной щеткой предыдущего, постепенно заполняя полость разделанной раковины.

Как известно [19, 20], для образования холодных трещин в ЗТВ должны выполняться три условия:

1. Микроструктура металла ЗТВ должна быть чувствительной к водороду. Такой структурой являются мартенсит и нижний бейнит, характерные для соединений низколегированных сталей повышенной прочности.

2. В зоне сварного соединения должен быть определенный минимум диффузионного водорода, источником которого служит преимущественно металл шва.

3. В зоне сварного соединения должны действовать растягивающие напряжения.

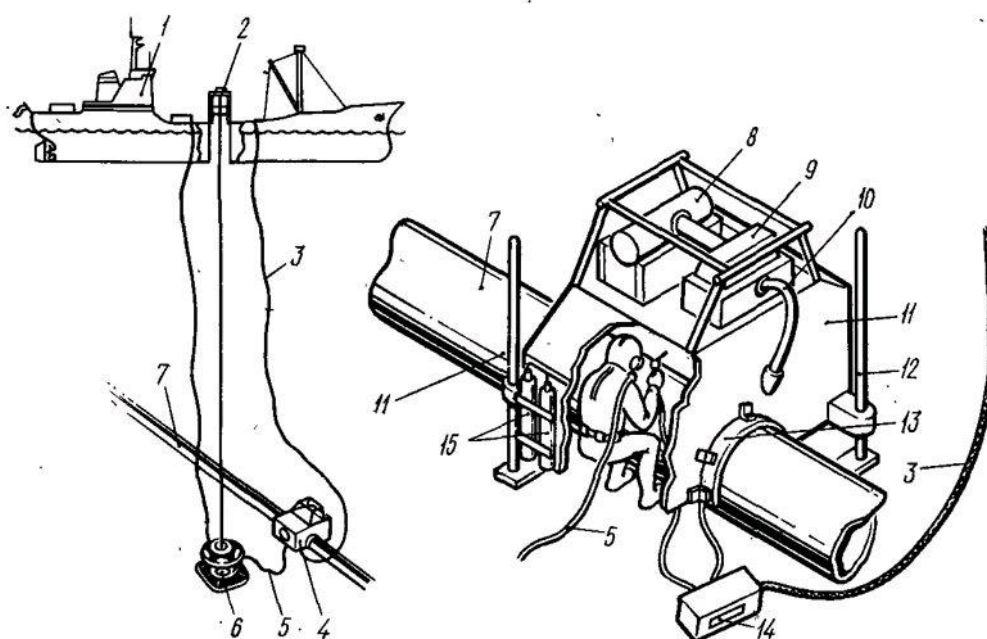
Проведенные исследования [21] показали, что в условиях сварки под водой повышенная склонность к образованию холодных трещин обусловлена в основном совместным воздействием первых двух факторов – наличием закалочных структур и повышенным содержанием диффузионного водорода. Кратковременность пребывания металла при высоких температурах несколько снижает степень влияния третьего из перечисленных выше факторов.

Тем не менее, уровень напряжений, возникающих в результате деформационного цикла подводной сварки, в сочетании с большим количеством водорода и чувствительной к водородной хрупкости микроструктурой оказывается достаточным для образования подваликовых трещин.

## 1.3 Анализ разновидностей подводной сварки

### 1.3.1 Понятие «сухой» и «мокрой» подводной сварки

По условиям реализации все процессы подводной сварки подразделяются на «мокрую» и «сухую» сварку [3]. «Мокрая» сварка – процесс, осуществляемый в водной среде без какой-либо защиты изделия и дуги, так как дуга в результате испарения и разложения воды в процессе сварки горит в естественном газовом пузыре. Процессы «мокрой» сварки реализуются с использованием как штучных электродов, так и плавящейся электродной проволокой. Существенным недостатком сварки покрытыми электродами являются определенные проблемы продолжения шва из-за необходимости периодической замены электродов по мере их расхода.



- 1 – обеспечивающее судно; 2 – спускоподъемное устройство;
- 3 – комбинированный электрический кабель; 4 – сухая камера;
- 5 – водолазный шланг; 6 – водолазный колокол; 7 – трубопровод;
- 8 – фильтр; 9 – газовый насос; 10 – шланг отсоса газа из камеры;
- 11 – корпус камеры; 12 – домкраты; 13 – кольцевое уплотнение;
- 14 – кабельная коробка; 15 – газовые баллоны

Рисунок 1.3 – Схема сухой подводной сварки

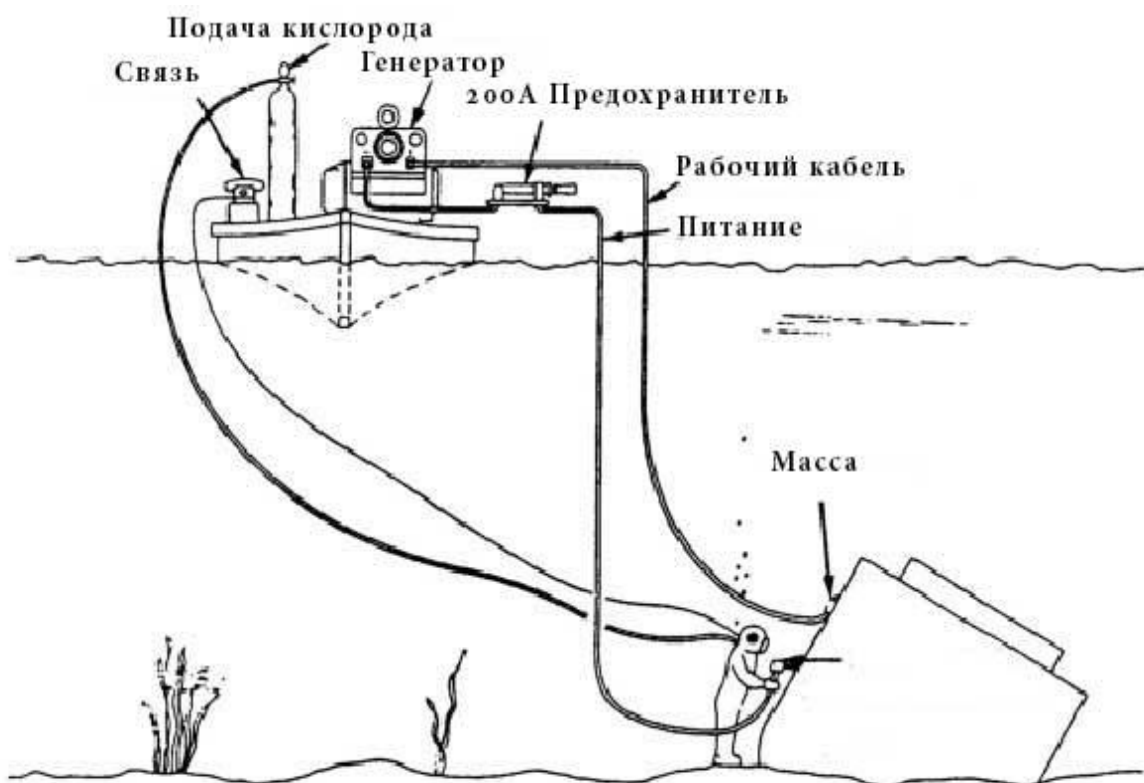


Рисунок 1.4 – Схема выполнения мокрой подводной сварки

Переход к сварке проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой не только исключил данный недостаток, но и дал мощный толчок в конце 1960-х годов к механизации сварочного процесса под водой [26].

Наиболее известный полуавтомат для механизированной сварки «Нептун-7», разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона может устойчиво работать на глубине до 180...200 м – максимальной глубине, на которой может работать водолаз с использованием серийно выпускаемых глубоководных водолазных станций [27]. Так как «мокрая» сварка реализуется без каких-либо дополнительных устройств, то она характеризуется невысокой стоимостью и относительной простотой работ. Однако наряду с преимуществами «мокрой» сварке присущи и существенные

недостатки, главными из которых являются повышенная склонность к дефектам (поры, трещины) из-за пониженного содержания легирующих элементов и высокого содержания водорода в наплавленном металле; нежелательной структуры металла шва и ЗТВ ввиду высокой скорости охлаждения сварного шва, проблемы формирования шва в потолочном положении. Поэтому «мокрую» сварку на потенциально опасных объектах, например подводных переходах, можно рассматривать только как временную меру, вплоть до выполнения более качественных работ с использованием «сухой» сварки.

Таким образом, подводная сварка может быть организована по трём различным способам [28].

Первый способ – «сухая» сварка. При этом способе подводная сварка осуществляется в глубоководной камере, которая погружается и устанавливается на изделие. При этом часть свариваемого изделия и сам сварщик находятся в этой глубоководной камере (кессоне). При такой организации процесса сварщик имеет возможность свободного передвижения и выполнения сварки в труднодоступных местах. Недостатком данного вида работ, существенно ограничивающим его применение, является высокая стоимость способа, требующего привлечения специализированного дополнительного оборудования (краны, суда и т. п.). Качество швов и условия работы при данном виде сварки ничем не уступают тем, что проводятся на суше.

Второй способ – «мокрая» сварка под водой. Такая организация процесса предусматривает погружение водолаза-сварщика на глубину нахождения рабочего объекта. При этом не требуется применения дополнительного специализированного сварочного оборудования. Благодаря этому достигается экономия времени, увеличивается свобода перемещений сварщика, а сам способ является самым экономичным. Однако качество швов при мокрой сварке существенно ниже, чем при сухой сварке.

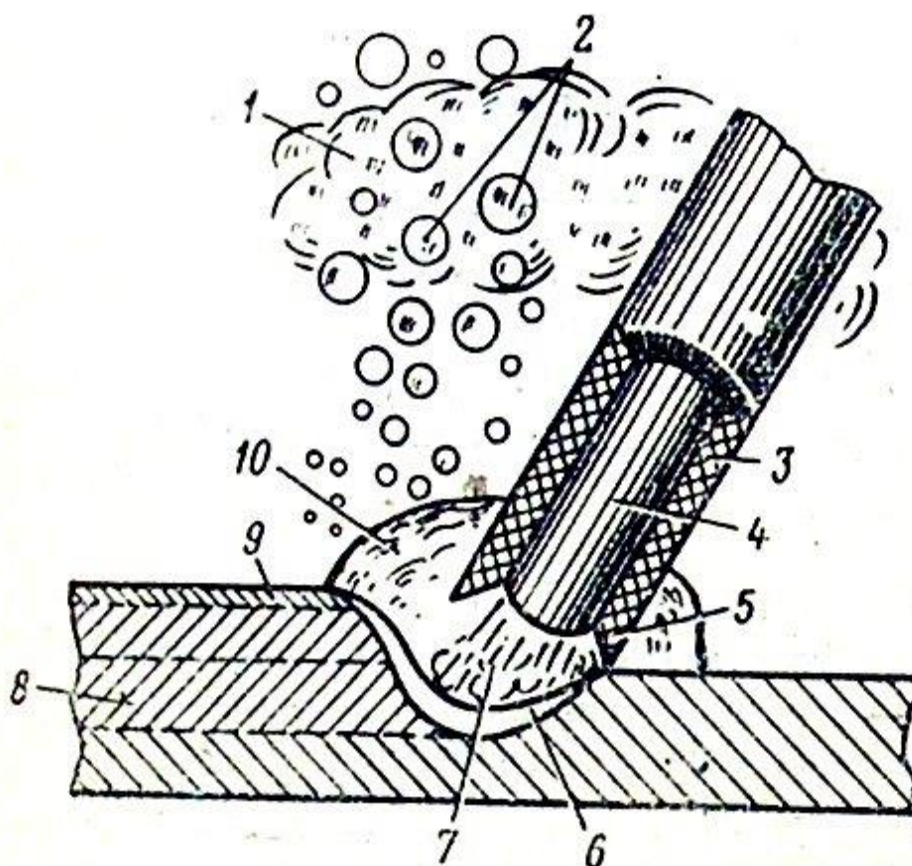
Третий способ – гипербарическая сварка. При такой организации подводная сварка выполняется в специальной камере, в которой поддерживается газовая среда, вытесняющая воду. Водолаз-сварщик располагается вне данного бокса, а сама сварка выполняется с применением электродной проволоки. Главным условием успешного протекания такой сварки является соблюдение плотного прилегания сварочных элементов в месте соединения [29].

### **1.3.2 Подводная сварка покрытыми электродами**

Сварку под водой длительное время выполняли с использованием покрытых электродов марок ЛПС-4, ЛПС-5, ЛПС-5, ЭПС-5, ЭПС-35, ЭПО-55, ЭПС-52, ЭПС-А и др. [3, 16], разработанных в 1940...1950-е гг. Основным изготовителем был «28 военный завод» в г. Ломоносове. Ряд электродов изготавливали сами исполнители подвод-но-технических работ. Сварка под водой указанными электродами характеризовалась неустойчивым горением дуги. Валики получались высокими с крупночешуйчатой поверхностью, отделимость шлаковой корки затруднялась. При сварке многопроходного сварного соединения установлено ухудшение формирования второго и последующих швов.

Наиболее удовлетворительными сварочно-технологическими свойствами отличались электроды марки ЭПС-52. Механические свойства соединений, полученных при сварке под водой этими электродами, соответствовали таковым, выполненным на воздухе электродами типа Э34. В настоящее время выпуск электродов ЭПС-52 на предприятии «28 военный завод» возобновлен. Электроды марки ЭПС-А предназначены для сварки под водой корпусных сталей повышенной прочности типа АК. Удовлетворительные сварочно-технологические свойства швов обеспечивались только при выполнении сварки в нижнем и вертикальном

положениях. Металл, наплавленный этими электродами, имел глубокоаустенитнитную структуру. Однако электроды ЭПС-А не выпускаются уже более десяти лет.



1 – облако аэрозоля (муть), 2 – пузырьки газа из парогазового пузыря, 3 – обмазка электрода, 4 – стержень электрода, 5 – козырёк, 6 – расплавленный металл, 7 – сварочная дуга, 8 – наплавленный металл, 9 – шлаковая корка, 10 – парогазовый пузырь

Рисунок 1.5 – Схема мокрой подводной сварки штучными электродами

Мокрая сварка под водой покрытыми электродами имеет свои положительные и отрицательные стороны. К положительным можно отнести следующее:

- высокую мобильность процесса;
- возможность использования широко распространенных передвижных сварочных агрегатов с автономным приводом;
- небольшие массу и размеры оборудования, идущего под воду;

- большую защищенность капли расплавленного металла за счет козырька, образующегося на торце электрода, чем при сварке самозащитными порошковыми проволоками;
- возможность получения корневого шва с обратным формированием валика.

Отрицательным является следующее:

- низкая производительность процесса;
- большое количество газовой фазы и механической взвеси в реакционной зоне, затрудняющей визуальный контроль горения дуги и формирование шва;
- значительный разброс прочностных и пластических показателей металла сварных соединений в зависимости от глубины выполнения работ и квалификации водолаза-сварщика.

В настоящее время на рынке сварочных материалов на рынке появились предложения о возможной поставке электродов типа Э38-ЛКИ-1П для подводной сварки углеродистых и некоторых низколегированных сталей, разработанных в Санкт-Петербургском морском техническом университете совместно с АО «Электродный завод». Они выпускаются под заказ в АО «Электродный завод».

В ИЭС им. Е. О. Патона в результате многочисленных систематических исследований была создана газошлаковая композиция, позволившая разработать новый покрытый электрод для мокрой сварки под водой во всех пространственных положениях [17, 18]. Электроды типа ЭПС-АН1 отличаются хорошими сварочно-технологическими характеристиками и предназначены для сварки под водой на глубине до 20 м ряда углеродистых и низколегированных сталей. Они обеспечивают механические свойства металла шва на уровне свойств электродного металла Э-42. По сварочно-технологическими и механическим свойствам они превосходят электроды типа Э38-ЛКИ-1П.



### 1.3.3 Подводная сварка порошковой самозащитной проволокой

В рамках работ с ВМФ была создана уникальная технология мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками [17, 18]. Основным элементом технологического процесса являлась самозащитная порошковая проволока типа ППС-АН1. Ее конструкция и технологические особенности изготовления позволяли поместить проволоку в полость подающего механизма полуавтомата, заполненного водой. При этом отпала необходимость в подаче в зону горения дуги и внутреннюю полость полуавтомата защитного газа. За счет уменьшения объема газовой фазы и взвесей в реакционной зоне повысилась возможность визуально контролировать процесс горения дуги и формирование металла шва. Такие технологические особенности позволили ОКТБ ИЭС им. Е. О. Патона разработать удачную конструкцию специализированного полуавтомата для работы на значительных глубинах. Две его модификации А1450 и ПШ141 прошли государственные испытания и были приняты для оснащения поисково-спасательной службы ВМФ. Их серийный выпуск был организован на Опытном заводе сварочного оборудования (ОЗСО) ИЭС им. Е. О. Патона. Кроме полуавтоматов, принятых на снабжение ВМФ, для нужд народного хозяйства выпускались полуавтоматы марки А1660 и ПШ146.

Порошковые проволоки марки ППС-АН1 и ППС-АН5 (проволока для сварки в соленой воде) для подводной сварки серийно изготавливались экспериментальным производством (ЭП) и ОЗСМ ИЭС им. Е. О. Патона. При сварке порошковыми проволоками конструкций из сталей марок ВСтЗсп, 09Г2, 09Г2С, и 19Г в пресной и морской воде на глубине до 20 м обеспечивались механические свойства сварных соединений на уровне свойств соединений, выполненных на воздухе электродами Э-42. При сварке на больших глубинах сварочно-технологические характеристики и

механические свойства металла ухудшались. С 1994 г. серийный выпуск этих проволок на ОЗСМ и в ЭП ИЭС им. Е. О. Патона был приостановлен.

Для получения удовлетворительных механических характеристик и исключения дефектов сварного шва, обусловленных наводораживанием металла и нестабильностью процесса горения дуги, в качестве компонентов сердечника самозащитной порошковой проволоки для мокрой подводной сварки используют шлаковые системы с высоким содержанием фторидов. Идея снижения количества водорода за счет взаимодействия паров воды с фтористыми соединениями и образование термически устойчивого фтористого водорода при введении флюорита в рутиловое покрытие приведена и подтверждена в работе [6]. Установлено, что с увеличением в сердечнике количества фторида кальция во всем интервале исследуемых составов (до 86 %  $\text{CaF}_2$ ) концентрация водорода в металле шва уменьшается. Несмотря на позитивное влияние на снижение содержания в шве водорода, необходимо учитывать, что фторидные шлаковые системы снижают стабильность горения дуги и способствуют крупнокапельному переносу металла электрода [7, 8].

Для повышения стабильности горения дуги при подводной сварке низколегированных сталей в состав электродного материала вводили соединения щелочных, щелочно-земельных и редкоземельных металлов, обладающих низким потенциалом ионизации и низкой работой выхода электронов [9]. Но для высоколегированных коррозионно-стойких сталей подобные исследования не проводились.

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

В работе была поставлена цель - повышение производительности и качества подводной ремонтной сварки за счёт применения современных технологий.

При анализе базовой технологии мокрой ремонтной сварки с применением штучных электродов выявлены её недостатки:

- 1) Низкая производительность сварки;
- 2) Значительно ухудшается видимость сварного шва из-за образования мути;
- 3) Качество работ существенно зависит от квалификации сварщика-водолаза;
- 4) Прерывание сварки на замену электрода.

Для устранения указанных недостатков целесообразно применить способ, сочетающий в себе преимущества мокрой и сухой сварки. Таким образом, можно сформулировать задачи, решение которых позволит достигнуто поставленной цели:

- 1) анализ современной научно-технической информации по вопросу подводной ремонтной сварки;
- 2) предложить способ, оборудование и сварочные материалы для подводной ремонтной сварки;
- 3) составить проектную технологию подводной ремонтной сварки.

## **2 Проектная технология подводной ремонтной сварки**

### **2.1 Анализ современной научно-технической информации по вопросу подводной ремонтной сварки**

Поиск и анализ научно-технической информации по вопросу ремонтной подводной сварке произведён с использованием поисковой системы GOOGLE по ключевым словам «Автоматическая сварка», «Сварочное производство», «подводная сварка», «диссертация», «научная статья».

В первой работе [30] проведен анализ состояния подводной сварки и резки в Украине. Установлено, что основным способом подводной сварки в настоящее время является мокрая сварка покрытыми электродами. Практически все металлоконструкции под водой в Украине разрезаются с применением электрокислородной резки трубчатыми электродами. Другие способы подводной резки за последнее время не использовались.

Во второй работе [31] проведены исследования влияния компонентов-стабилизаторов на стабильность горения дуги при мокрой подводной сварке высоколегированных коррозионно-стойких сталей типа 18-10. Исследованы сварочно-технологические свойства опытных проволок. Проанализированы результаты и определен компонент, который наиболее эффективно влияет на стабильность горения дуги.

В третьей работе [32] изучено влияние состава шихты порошковой самозащитной проволоки на стабильность горения дуги при подводной мокрой сварке.

В четвёртой работе [33] приведены результаты исследования изменений химического состава и структуры металла шва при мокрой дуговой подводной сварке стали 12X18H10T покрытыми электродами. Показано, что в отличие от сварки на воздухе в металле швов при подводной

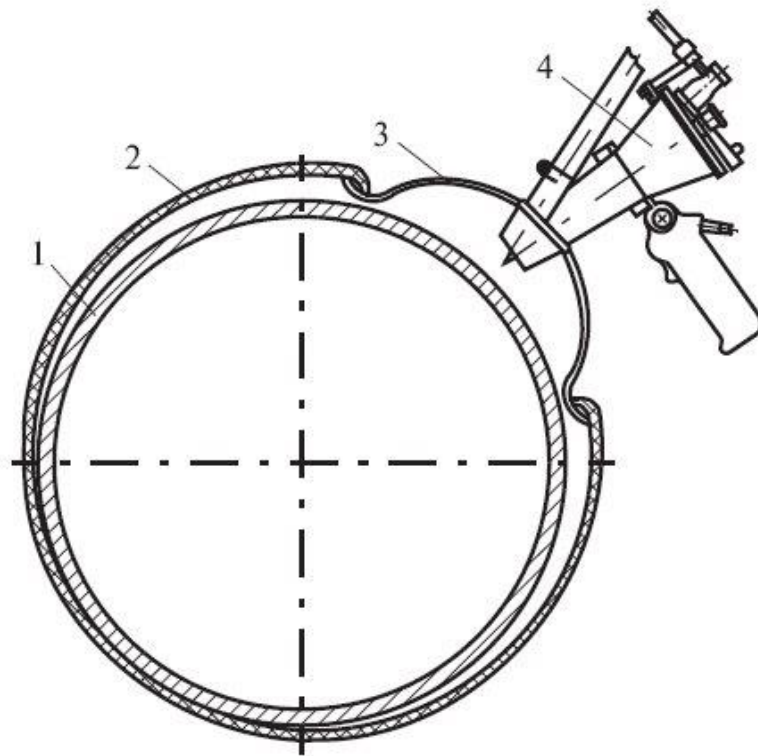
сварке повышается содержание кислорода и водорода при одновременном снижении количества элементов-ферритизаторов. При этом структура металла шва характеризуется наличием преимущественно столбчатых кристаллитов, пониженной долей зернограничного  $\delta$ -феррита и повышенной объемной долей оксидных неметаллических включений, количество которых с дисперсностью 0,10...1,25 мкм возрастает в 1,5...2 раза.

В пятой работе [34] с использованием искусственных нейронных сетей проведена оценка качества сварных соединений, выполненных под водой, с четырьмя типами дефектов сборки: превышением кромок, изменением расстояния горелка – деталь, изменением зазора между деталями и наличием прихваток. Показана эффективность применения нейронных сетей для указанных типов дефектов, за исключением изменения зазора между свариваемыми кромками.

## **2.2 Оборудование для подводной сварки**

Для обеспечения стабильно сухой газовой среды вокруг ремонтируемого соединения накидная сварочно-монтажная камера неподвижно закрепляется на месте сварки. Камера должна плотно прилегать к трубопроводу и обеспечивать герметичность зоны сварки. В камере предусмотрен люк для ввода в нее водолазом-сварщиком сварочной горелки. Для вытеснения из камеры воды и создания сухой среды в нее подается смесь газов под соответствующим давлением. Камеру полностью или частично изготавливают из прозрачного материала.

Через прозрачные стенки камеры сварщик может наблюдать за процессом сварки, а через перчаточный шлюз управлять горелкой. Как правило, мини-камеру изготавливают по специальному заказу, еще до начала сварочных работ.



1-ремонтируемая конструкция; 2-стяжной пояс; 3-эластичная мембрана; 4-горелка

Рисунок 2.1 – Конструкция гибкого мини-кессона

Полуавтомат для механизированной сварки с использованием локальных систем защиты практически ничем не отличается от полуавтоматов для «мокрой» сварки [26, 27] и состоит из источника сварочного тока, блока управления, блока погружного с механизмом подачи электродной проволоки и катушкой, сварочной горелки с гибким шлангом для подачи проволоки и комплекта токогазовых коммуникаций (рис. 2.2).

Источник сварочного тока ДС 400.33 М – современный инверторный аппарат, обеспечивающий сварку плавящимся электродом током до 400 А. Отличительной особенностью источника является точное поддержание режимов сварки независимо от длины силовых кабелей и перепадов напряжения в сети питания.



Рисунок 2.2 – Полуавтомат для подводной механизированной сварки

Блок управления обеспечивает питание функциональных устройств, пуск и остановку подачи проволоки, регулирование скорости ее подачи, контроль возможных неполадок и параметров сварочного процесса. В процессе сварки блок также должен находиться на поверхности. Управление приводом выполнено по классической двухконтурной схеме с внутренним регулятором ЭДС двигателя (с комбинированными связями, отрицательной по напряжению и положительной по току). Для этого силовая схема электропривода выполнена на двух транзисторах (первый транзистор обеспечивает двигательный режим, второй – тормозной режим).

Предусмотрено два режима работы блока управления: двухтактный – с нажатием и удержанием кнопки горелки вплоть до окончания процесса сварки и четырехтактный – с кратковременным нажатием кнопки горелки для начала процесса сварки и повторным нажатием кнопки для его прекращения.

Имеется также настроечный режим работы – без включения источника.

В процессе выполнения сварки источник и блок управления находятся на поверхности, поэтому необходимые контрольно-измерительные приборы позволяют регулировать процесс сварки без участия водолаза-сварщика, оперативная связь с которым поддерживается по радио.

В погружном блоке, выполненном в виде стального чехла с герметичным вводом проводов цепи управления, размещены механизм подачи проволоки и катушка с электродной проволокой. В процессе сварки погружной блок располагают под водой недалеко от места сварки. В кожухе при помощи системы подачи газа и регулирующих клапанов постоянно поддерживается давление газа, ориентировочно в 1,5 раза больше, чем давление окружающей воды.

Однако горелка для сварки в мини-кессоне значительно более сложная по конструкции (рис. 2.3), чем горелка для «мокрой» сварки, из-за наличия специального окна для визуального наблюдения за дугой и зоной сварки.

Для этого горелка выполнена в форме пистолета, ствол которого заканчивается усеченной насадкой со светофильтром. На горелке расположены вентиль регулирования расхода защитного газа, узел фиксации горелки на мембране, хомут для крепления шланга подачи электродной проволоки и подвода сварочного тока, лампа подсветки, кнопка включения подачи электродной проволоки и сварочного тока.

В гибком шланге горелки общей длиной до 2 м располагается стальная спираль или пластиковая трубка, по которой плавящаяся электродная проволока подается к контактному наконечнику сварочной горелки.

Кабель управления обеспечивает работу механизма подачи электродной проволоки. В погружной блок кабель входит через герметичный ввод. Токогазовые коммуникации обеспечивают работу подсоединенного к горелке и участку трубопровода сварочного источника, находящегося на поверхности, и подачу защитного газа в кессон и горелку.





а

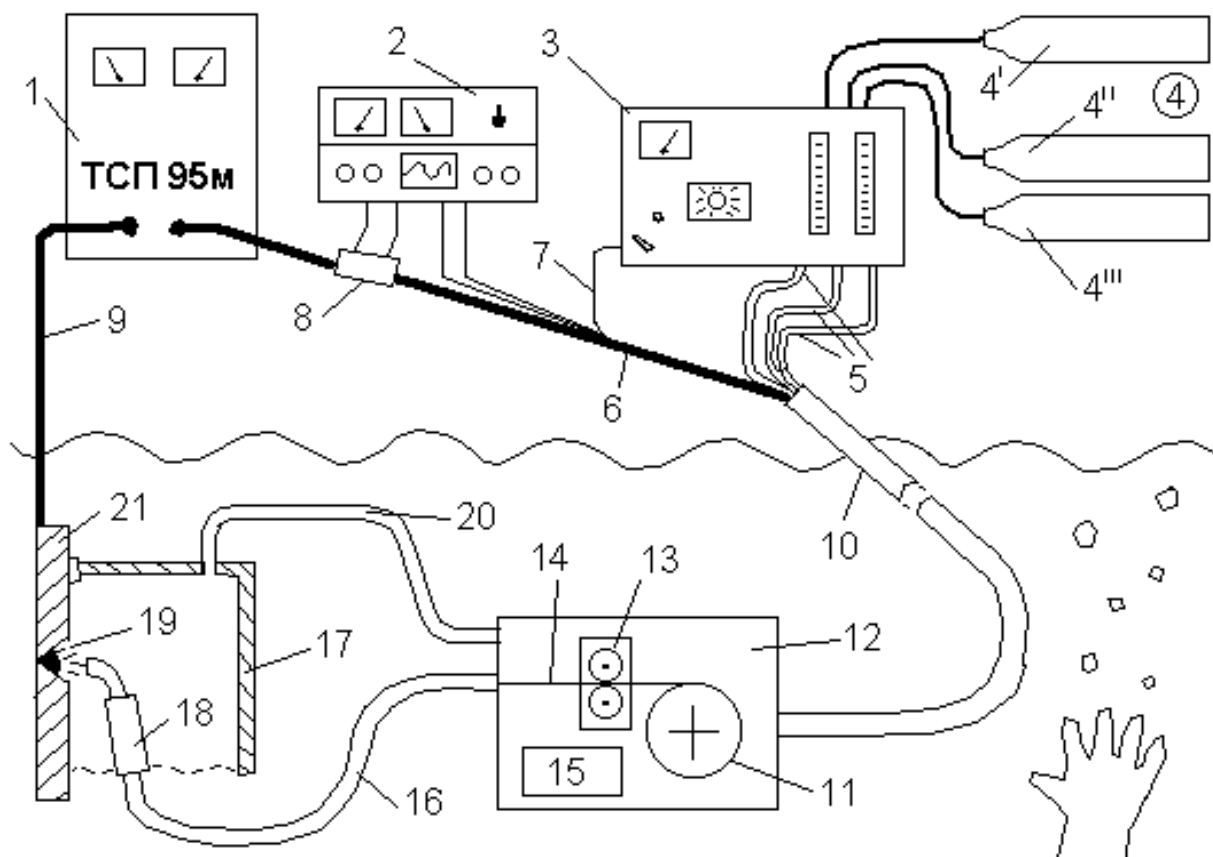


б

Рисунок 2.3 - Горелка для сварки плавящимся электродом в гибком мини-кессоне: со стороны сопла (а) и окна визуального наблюдения (б)

Таблица 2.1 – Техническая характеристика аппарата для подводной сварки УПСС-1

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	380 (трехфазное, переменный ток)
Потребляемая мощность, кВт	менее 25
Максимальный сварочный ток, А	400
Диаметр электродной проволоки, мм	0,8...2,0
Скорость подачи электродной проволоки, м/мин	до 14
Масса установки с кабелем длиной до 70 м, кг	до 104
Масса сварочного источника, кг	до 44
Масса блока погружного, кг	25
Масса блока управления, кг	до 4
Габаритные размеры сварочного источника, мм	610 × 280 × 535
Габаритные размеры блока погружного, мм	4090 × 335
Габаритные размеры блока управления, мм	260 × 222 × 131
Масса токогазовых коммуникаций, кг	до 75



- 1 – источник питания сварочной дуги; 2 – контрольно-измерительная аппаратура;  
 3 – блок управления подачей газа, скорость и сварочной проволоки; 4 – баллоны с защитным газом (4' – на агрегат подачи проволоки; 4'' – на сварочную головку; 4''' – в мини-кессон); 5 – шланг подачи защитного газа; 6 – силовой кабель; 7 – шланг подачи сварочной проволоки; 8 – шунт; 9 – «земля»; 10 – центральный кабель;  
 11 – катушка с проволокой; 12 – подводный агрегат подачи проволоки; 13 – тянущие валки; 14 – сварочная проволока; 15 – мотор агрегата подачи проволоки;  
 16 – герметичный шланг-кабель; 17 – мини-кессон; 18 – головка полуавтомата; 19 – сварочная дуга; 20 – подача газа в мини-кессон; 21 – свариваемое изделие

Рисунок 2.4 - Оборудование для сухой глубоководной механизированной сварки в мини-кессоне (гипербарической сварки)

Климатическое исполнение установки – У2 (ГОСТ 15150).  
 Находящиеся в процессе сварки на поверхности сварочный источник и блок управления устойчиво работают при температуре окружающего воздуха от – 40 °С до 40 °С и относительной влажности 80 % при 15 °С. Условия функционирования блока погружного: температура окружающей среды от – 5° С до 40 °С, внешнее давление до 600 кПа. Для сварки в надводном положении и «мокрой» сварки в комплект полуавтомата дополнительно

входит традиционный держатель. При «мокрой» сварке используют электродную проволоку ППС\_АН1, ППС\_АН5, а мини-кессон не применяют.

### **2.3 Сварочные материалы**

Для подводной сварки (наплавки, заварки) дефектов труб и сварных соединений из сталей с классом прочности до К54 включительно рекомендуется применять проволоки сплошного сечения Св-08Г2С-О или Super Arc L-56. Для сварки (наплавки, заварки) дефектов труб и сварных соединений из сталей с классом прочности до К60 включительно – проволоки сплошного сечения Thyssen K-Nova (TS-6), K-600 (Union K Nova-Ni), ОК Autrod 12.66, Lincoln Supra Mig.

В качестве защитного газа рекомендуется применять смесь аргона и углекислого газа в отношении (%) 80 Ar + 20 CO<sub>2</sub>. Допускается использование 100 % CO<sub>2</sub> по ГОСТ 8050 высшего сорта.

### **2.4 Технология подводной ремонтной сварки**

До начала ремонта проводят выборку дефектного участка. Выборку дефектного участка с наружными дефектами выполняют механическим способом для получения необходимой формы, при этом наружные поверхности свариваемых кромок, прилегающие к границам выборки, зачищают до металлического блеска на ширину 10...15 мм. В процессе выборки (вышлифовки) дефектов обеспечивают их полное удаление, при этом глубина выборки не должна превышать глубину наружных дефектов более чем на 1,0 мм. В процессе работ применяют шлифовальные машинки и фрезы с гидравлическим приводом.

Параметры выборки дефектного участка прямоугольной формы на ремонтируемом сварном шве и порядок ее заполнения (наплавки) показан на рис. 2.5, а круглой или овальной формы – на рис. 2.6.

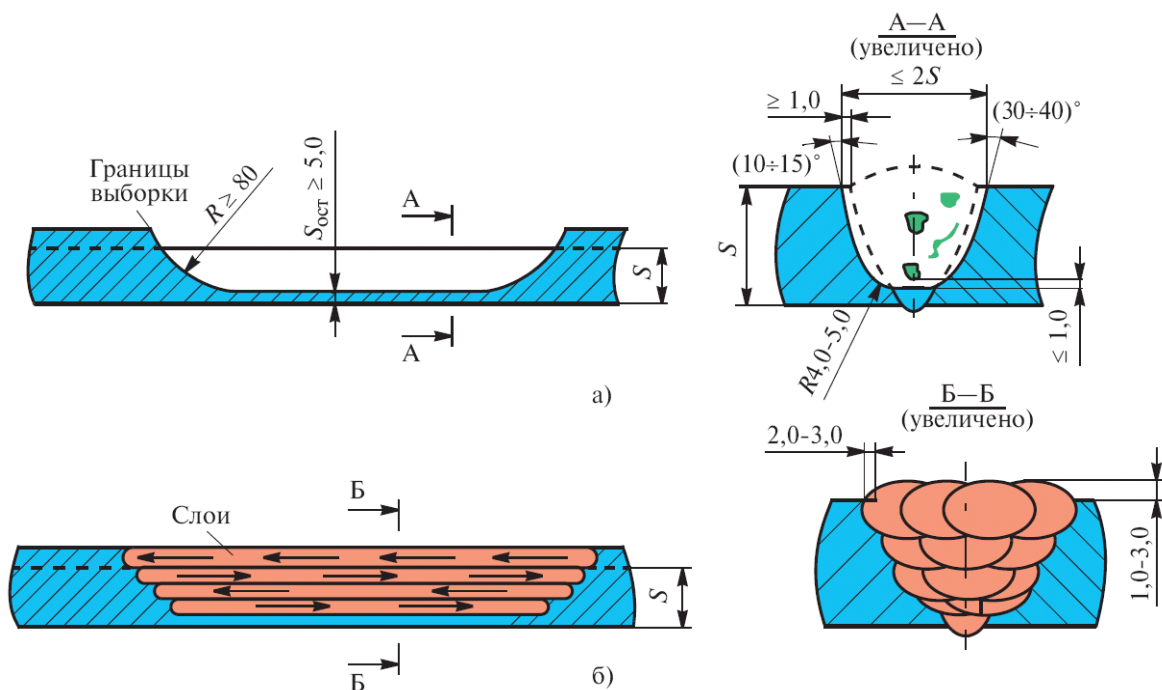


Рисунок 2.5 – Параметры выборки (а) и заполнения дефектного участка прямоугольной формы

Для обеспечения гарантированного сплавления по кромкам в условиях интенсивного теплоотвода выборка должна иметь чашеобразную U\_образную форму, при этом она должна превышать фактическую длину дефекта не менее чем на 30 мм в каждую сторону. В поперечном сечении угол разделки выборки в зависимости от ее расположения может различаться. Так, для выборки в верхней или нижней поверхности трубы рекомендуется симметричная разделка с углами скоса  $(25\div 30)^\circ$ , а для выборки на ее боковых поверхностях – несимметричная разделка с углами скоса  $(30\div 40)^\circ$  в верхней части и  $(10\div 15)^\circ$  в ее нижней части.

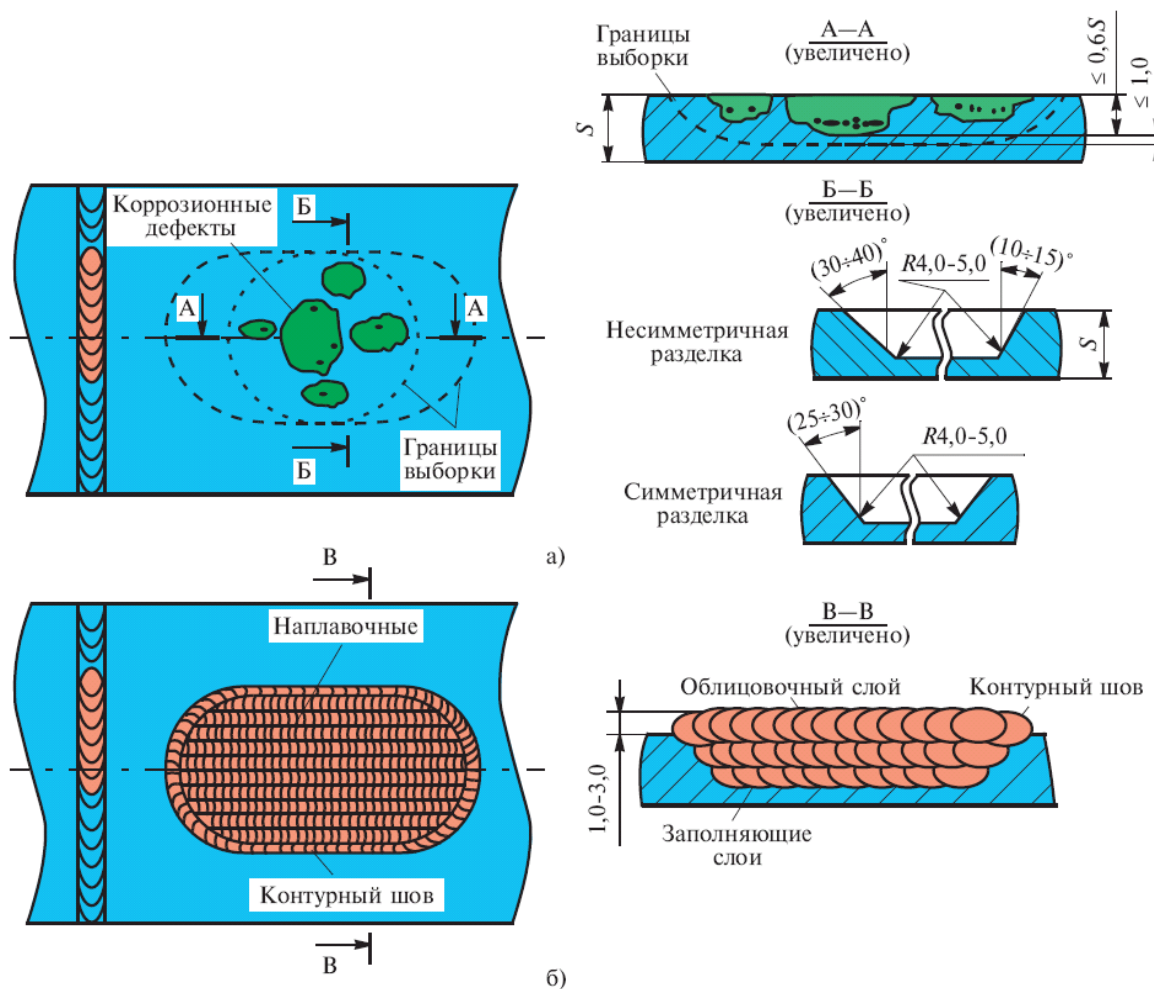


Рисунок 2.6 – Порядок выборки (а) и заполнения (б) дефектного участка круглой или овальной формы

Перед сваркой осуществляют предварительный подогрев выборки электрическими нагревательными устройствами. Температура подогрева определяется толщиной стенок ремонтируемых труб и классом их прочности.

Сварку (наплавку) выборки выполняют постоянным током обратной полярности узкими валиками по встречно-симметричной схеме. Направление швов в каждом последующем слое должно быть встречным предыдущему. Швы должны наплавляться с перекрытием 2...3 мм. Ширина первых заполняющих слоев должна составлять 4...6 мм, последующих заполняющих слоев – 8...10 мм. Облицовочные слои должны перекрывать основной металл на величину 2...3 мм и иметь выпуклость 1...3 мм. Контурный шов должен иметь ширину 8,0...12,6 мм и перекрывать основной металл на 2...3 мм.

Режимы сварки под водой на глубине 5 м приведены в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 – Параметры режима подводной сварки на глубине 5 м при сварке проволокой сплошного сечения  $\varnothing 0,8$  мм

Пространственное положение	Ток, А	Напряжение, В	Расход газа, л/мин	Скорость подачи проволоки м/мин	Вылет проволоки, мм
Нижнее	130...140	23...25	30	7,5	10...15
Вертикальное	90...100	20...21	30	5,0	10...15
Потолочное	90...100	20...21	30	5,0	10...15

Таблица 2.3 – Параметры режима подводной сварки на глубине 5 м при сварке проволокой сплошного сечения  $\varnothing 1,0$  мм

Пространственное положение	Ток, А	Напряжение, В	Расход газа, л/мин	Скорость подачи проволоки м/мин	Вылет проволоки, мм
Нижнее	140...150	30...32	30	7,5	10...15
Вертикальное	110...120	28...29	30	5,5	10...15
Потолочное	100...110	25...28	30	5,5	10...15

Минимальное число слоев наплавки при механизированной сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах в зависимости от глубины и формы выборки приведено в табл. 2.4.

Контроль качества отремонтированных дефектных участков труб и сварных соединений подводных переходов проводит водолаз-дефектоскопист как визуально, так и с применением измерительных приборов.

Таблица 2.4 – Минимальное число слоёв наплавки

Глубина выборки, мм	Число наплавочных слоёв шва
до 10 мм включительно	$\geq 3$
Свыше 10 до 15 включительно	$\geq 4$
Свыше 15 до 20 включительно	$\geq 5$
Свыше 20 до 25 включительно	$\geq 6$

Проведенные в установленном порядке в ООО «Подводсервис» исследовательская и производственная аттестация установки УПСС\_1 и представленных ремонтных технологий сварки показали стабильно высокое качество сварных соединений (рис. 2.7). По результатам опытно-промышленного внедрения установок УПСС-1 выпущен отраслевой стандарт СТО Газпром 2-2.3-159-2007 «Инструкция по ремонту подводных газопроводов с использованием установки полуавтоматической сварки УПСС-1».



Рисунок 2.7 – Натурный образец наплавочных швов, выполненных установкой УПСС-1

Проведенные работы по ремонту подводных газопроводов, например, по заварке на глубине 15 м каверн и трещин в подводном переходе газопровода через реку Лена показали перспективность применения установок УСПП-1 при ремонте подводных переходов магистральных нефте-

и газопроводов на глубинах до 40 м, даже в условиях ограниченной видимости.

Необходимо отметить, что для практической реализации любых способов сварки под водой необходима развитая инфраструктура, включая не только необходимое специализированное сварочное оборудование, но и средства его доставки на место выполнения работ, а также наличие персонала, сочетающего навыки сварщика и водолаза-подводника. Наряду с этим опытно-промышленное применение установки УСПП-1 показало, что ее усовершенствование будет заключаться уже не в модернизации оборудования, а в повышении эффективности осушения свариваемых (наплавляемых) поверхностей в мини-кессоне, а также совершенствовании системы предварительного и сопутствующего нагрева стыка непосредственно в процессе сварки.

## **2.5 Контроль качества сварки**

Основной задачей производства сварных конструкций является стабилизация качества соединений во всей партии однотипных изделий. Наиболее распространенный способ решения этой задачи – оптимизация параметров режима и минимизация уровня технологических возмущений.

Получить сварные соединения с параметрами качества, не худшими чем предельно допустимые по соответствующим стандартам или техническим условиям, позволяют табличные модели, связывающие показатели качества с параметрами сварочного режима. Однако при повышении требований к сварному соединению, определенных конструктивных особенностях изделия и наличии возмущений применение таких моделей не всегда может обеспечить заданное качество. Устранение влияния возмущений вследствие разнообразия природы их возникновения невозможно.



Так, при сварке под водой на процесс формирования сварного шва влияет целый комплекс нестационарных возмущений. Например, невозможно устранить вероятность появления возмущений, возникающих вследствие действия на человека таких факторов окружающей среды, как плохая видимость, течение, высокое давление. В связи с этим большое значение приобретает контроль качества сварных соединений, часто являющихся особо ответственными. Однако в большинстве случаев контроль качества сварного соединения, выполненного мокрой подводной сваркой, осуществляется наружным осмотром или в случае ремонта трубопроводов проверкой соединения на герметичность избыточным давлением. Применение общепринятых аппаратных средств в условиях водной среды связано с большими техническими трудностями. В связи с этим разработка простой в реализации и надежной в эксплуатации технологии объективного контроля качества является наиболее актуальной. Такая технология должна обеспечивать контроль качества формирования шва в реальном масштабе времени или непосредственно после окончания сварки и не требовать погружения под воду ни оборудования, ни контролера.

Информацию, необходимую для оценки качества сварного соединения, можно получать путем анализа физических параметров сварочной дуги, включая электрические [22]. Использование последних требует минимальных аппаратных средств и не увеличивает, как правило, массогабаритные показатели рабочих узлов сварочных установок.

Кроме того, сварочная дуга практически безынерционна. Для подводной сварки особенно привлекательным является возможность измерения сварочных параметров с обесценивающего судна.

Сущность технологии контроля качества сварного соединения по электрическим параметрам дуги заключается в сопоставлении формы осциллограмм тока и напряжения дуги с изменением показателей качества по длине сварного шва. Поскольку большинство дефектов последнего

закладывается на стадии образования и кристаллизации сварочной ванны, состояние одного из электродов должно отражать особенности протекания этого процесса.

Средства проведения УЗК должны включать:

- ультразвуковой дефектоскоп, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 23667 и ГОСТ 28702 в подводном исполнении, выполненный в герметичном боксе со степенью защиты от проникновения воды IP68 по ГОСТ 14254, либо дефектоскоп для работы на поверхности с комплектом герметичных высокочастотных кабелей и пьезоэлектрических преобразователей (рекомендуются: подводный дефектоскоп Krautkramer Surs-2, дефектоскоп Erosch-4 с выносным герметизированным датчиком);

- ультразвуковой толщиномер подводного исполнения по ГОСТ 28702 со степенью защиты от проникновения воды IP68 по ГОСТ 14254 (рекомендуется толщиномер Cygnus-1 в герметичном боксе);

- пьезоэлектрические преобразователи с углами ввода от 0° до 70° совмещенного и раздельно-совмещенного типа, защищенные от вредного воздействия в результате проникновения воды и рассчитанные на длительное погружение со степенью защиты IP68 по ГОСТ 14254;

- стандартные образцы по ГОСТ 14782 для калибровки и проверки параметров преобразователей и дефектоскопа;

- стандартные образцы, имеющие отверстие с плоским дном, с сегментным отражателем, с угловым отражателем и с цилиндрическим отверстием для настройки развертки и калибровки чувствительности дефектоскопа согласно требованиям ГОСТ 14782.

### 3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

#### 3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологи подводной ремонтной сварки. Базовая технология предусматривает применением ручной дуговой сварки штучными электродами.

Проектная технология подводной ремонтной сварки предусматривает применение механизированной сварки в защитном газе с применением мини-кессона.

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

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1	2	3	4
Зачистка дефектного участка	Сварщик-подводник	Машинка шлифовальная, набор ВИК, шаблоны гибкие под выборку, гидравлическая станция, погружное снаряжение, толщиномер	Круг абразивный, искровая проволочная щётка
Предварительный подогрев	Сварщик-подводник	Мини-кессон, контактные термодары, маты теплоизолирующие, сварочный трансформатор	-

### Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4
Заварка дефекта	Сварщик-подводник	Источник сварочного тока ДС-400.3, блок управления БУМП, блок подачи проволоки подводный ТТ-203-00, горелка ТТ 203-03, мини-кессон	Углекислый газ, сварочная проволока
Механическая обработка	Сварщик-подводник	Машинка шлифовальная, набор ВИК	Круг абразивный, дисковая проволочная щётка
Контроль качества	Сварщик-подводник	Ультразвуковой подводный дефектоскоп СКАРУЧ-ПВ1, толщиномер УТ-83	-

### 3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющего угрозу негативного фактора
1	2	3
Зачистка дефектного участка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- резкое изменение (повышение или понижение) барометрического давления воздуха;</li> <li>- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;</li> <li>- физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;</li> <li>- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса</li> </ul>	Оборудование для подготовки дефектного места
Предварительный подогрев	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- резкое изменение (повышение или понижение) барометрического давления воздуха;</li> <li>- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;</li> <li>- физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса</li> </ul>	Оборудование для проведения предварительного подогрева

### Продолжение таблицы 3.2

Заварка дефекта	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;</li> <li>- резкое изменение (повышение или понижение) барометрического давления воздуха;</li> <li>- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;</li> <li>- физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;</li> <li>- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса</li> </ul>	Оборудование для подводной сварки
Механическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- резкое изменение (повышение или понижение) барометрического давления воздуха;</li> <li>- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;</li> <li>- физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;</li> <li>- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса</li> </ul>	Оборудование для подводной механической обработки сварных швов
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- резкое изменение (повышение или понижение) барометрического давления воздуха;</li> <li>- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;</li> <li>- физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;</li> <li>- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса</li> </ul>	Подводный ультразвуковой дефектоскоп

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для анализа мероприятий по устранению идентифицированных в таблице 3.2 негативных производственных факторов сведем и систематизируем имеющиеся и разработанные мероприятия в таблицу 3.3.

К перечню мероприятий относится вводный; первичный и т.д. инструктажи. Но, поскольку они являются обязательными для проведения на

любом предприятии народного хозяйства, акцентировать на них внимание в таблице 3.3 нет нужды.

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

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	Информирующие об опасности плакаты и надписи, проведение инструктажа персонала	Погружное снаряжение
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	Информирующие об опасности плакаты и надписи, проведение инструктажа персонала	Погружное снаряжение
3) резкое изменение (повышение или понижение) барометрического давления воздуха;	Проведение инструктажа персонала, проверка состояния погружного снаряжения	Погружное снаряжение
4) отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;	-	Погружное снаряжение, индивидуальный фонарь
5) физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса	Соблюдение норм нахождения под водой, проведение инструктажа персонала	-
6) нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса	Соблюдение норм нахождения под водой, проведение инструктажа персонала	-
7) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Периодический контроль состояния изоляции.	Погружное снаряжение
8) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	Экранировании места сварки миникессоном	Погружное снаряжение

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

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

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Ремонтная сварка трубопровода	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки, контрольные операции	Отсутствуют	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

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

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	-
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Разработка и применение режимов сварки, обеспечивающие снижение вредных выделений
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

### **3.6 Заключение по разделу**

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

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

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



## **4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений**

### **4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов**

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности технологи подводной ремонтной сварки. Базовая технология предусматривает применением ручной дуговой сварки штучными электродами. Этот способ сварки имеет следующие существенные недостатки:

- 1) низкая производительность сварки
- 2) большое количество мути при мокрой сварке
- 3) требуется высокая квалификации сварщика, особенно при мокрой сварке
- 4) прерывание сварки на замену электрода.

Также следует учесть, что качество сварного соединения страдает из-за особенностей мокрой подводной сварки.

Проектная технология подводной ремонтной сварки предусматривает применение механизированной сварки в защитном газе с применением мини-кессона. Преимущества этого способа сварки:

- 1) непрерывность процесса, так как не требуется заменять электрод;
- 2) высокая производительность сварки;
- 3) возможность сварки в потолочном положении;
- 4) высокое качество сварки корневого слоя шва.

Кроме того, сварка с использованием мини-кессона позволяет получить следующие улучшения технологии:

- 1) малая масса оборудования, погружаемого на глубину;
- 2) высокая мобильность и универсальность процесса;
- 3) малая стоимость и простота оборудования для сварки;
- 4) качество сварных швов повышается по сравнению с мокрой сваркой.

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

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя в рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	1	1
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	$P_p$		IV	IV
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	400	400
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	$K_{доп}$	%	12	12
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	$K_d$	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	$K_{сн}$	%	30	30
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	$На$	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	$На.пл.$	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	$K_{т-з}$	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	$K_{монт}$ $K_{дем}$	%	3	5

## Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	400 тыс.	700 тыс.
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	14	27
Принятое значение стоимость электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,7
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

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

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

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

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

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

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

$K_{см}$  – количество рабочих смен.

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

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

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

$$F_3 = F_H \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где  $B$  – процент планируемых потерь рабочего времени.

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

$$F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

### 4.3 Расчет штучного времени

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

(4.3)

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

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

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

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

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

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

$t_{\text{п-з}}$  – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и

проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{\text{оп-3}} = 1\%$  от  $t_{\text{маш}}$ .

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

$$t_{\text{шт.баз}} = 4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 4,84 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 1,7 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,06 \text{ ч.}$$

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

$$P_{\Gamma} = \frac{F_{\text{э}}}{t_{\text{шт}}}, \quad (4.4)$$

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

$t_{\text{шт}}$  – штучное время в часах, которое затрачивает работник на заварку одного типового дефекта по базовому и проектному вариантам технологии;

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

$$P_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/4,84 = 424 \text{ дефектов за год;}$$

$$P_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/2,06 = 997 \text{ дефектов за год.}$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы  $P_{\Gamma}=200$  дефектов.

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

$$n_{РАСЧ} = \frac{t_{шт} \cdot Пг}{F_{э} \cdot K_{ВН}}, \quad (4.5)$$

где  $Пг$  – годовая программа – принятое ранее количество исправляемых дефектов на трубопроводе, которые необходимо сварить за одни календарный год при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

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

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

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

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

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{4,84 \cdot 200}{2054 \cdot 1,03} = 0,46$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{2,06 \cdot 200}{2054 \cdot 1,03} = 0,20$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического

процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

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

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

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

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

$$K_{zб} = 0,46/1 = 0,46$$

$$K_{zп} = 0,20/1 = 0,20$$

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

При подводной ремонтной сварке используются сварочные материалы. Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки, для которой сварочным материалом являются штучные электроды. Проектная технология сварки предусматривает применение механизированной сварки в защитном газе, для которой сварочными материалами будут сварочная проволока и углекислый газ. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы при выполнении



операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

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

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

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

При расчёте затрат на материалы следует учесть что базовый вариант ремонтной подводной сварки с применением ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью исправления получившихся дефектов. В проектном варианте технологии предложено использовать механизированную сварку в углекислом газе с применением мини-кессона. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные швы без дефектов. Таким образом, массу наплавленного металла при сварке базовой технологии следует взять больше, чем массу наплавленного металла при сварке по проектной технологии. После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_b = 670 \cdot 1,7 \cdot 1,05 = 1195,95 \text{ руб.}$$

$$M_{пр} = (230 \cdot 1,4 + 90 \cdot 12) \cdot 1,05 = 1472,10 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

После подстановки в формулу (2.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 4,84 \cdot 400 \cdot 1,88 = 3484,80 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 2,06 \cdot 400 \cdot 1,88 = 1549,12 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 3484,80 \cdot 12/100 = 418,18 \text{ рублей;}$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 1549,12 \cdot 12/100 = 185,89 \text{ рублей;}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{базов.}} = 3484,80 + 418,18 = 3902,98 \text{ рублей;}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.}} = 1549,12 + 185,89 = 1735,01 \text{ рублей.}$$

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

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

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

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

$$O_{\text{сб.баз.}} = 3902,98 \cdot 30 / 100 = 1170,89 \text{ руб.}$$

$$O_{\text{сб.проектн.}} = 1735,01 \cdot 30 / 100 = 520,50 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100} \quad (2.12)$$

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

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

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

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

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

$$A_{об.б} = \frac{400000 \cdot 21,5 \cdot 4}{2054 \cdot 100} = 167,48 \text{ рублей}$$

$$A_{об.пр} = \frac{700000 \cdot 21,5 \cdot 1,7}{2054 \cdot 100} = 124,56 \text{ рублей}$$

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

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

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

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

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

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

$$P_{\text{э-эб}} = \frac{14 \cdot 4 \cdot 3,02}{0,7} = 249,60 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{э-эпр}} = \frac{27 \cdot 1,7 \cdot 3,02}{0,85} = 163,08 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{баз.}} = 167,48 + 249,60 = 417,08 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{\text{проектн.}} = 124,56 + 163,08 = 287,64 \text{ рублей}$$

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

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

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 1195,95 + 3902,98 + 1170,89 + 417,08 = 6686,90 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 1472,10 + 1735,01 + 520,50 + 287,64 = 4015,25 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 6686,90 + 1,5 \cdot 3484,80 = 6686,90 + 5227,20 = 11914,10 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 4015,25 + 1,5 \cdot 1549,12 = 4015,25 + 2323,68 = 6338,93 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

$$C_{\text{завБаз.}} = 11914,10 + 1,15 \cdot 3484,80 = 11914,10 + 4007,52 = 15921,62 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{завПроектн.}} = 6338,93 + 1,15 \cdot 1549,12 = 6338,93 + 1781,49 = 8120,42 \text{ руб.}$$

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

Таблица 4.2 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	1195,95	1472,10
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	3902,98	1735,01
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	1170,89	520,50
4. Объём финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	417,08	287,64
5. Величина технологической себестоимости	Стех	6686,90	4015,25
6. Объём цеховых расходов	Рцех	5227,20	2323,68
7. Величина цеховой себестоимости	Сцех	11914,10	6338,93
8. Объём заводских расходов	Рзав	4007,52	1781,49
9. Величина заводской себестоимости	С <sub>зав</sub>	15921,62	8120,42

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

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

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{об}} = n \cdot C_{\text{об.б.}} \cdot K_{\text{з.б.}}, \quad (4.17)$$

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

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

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

Величину  $C_{\text{об.б.}}$  остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Ц_{\text{ОБ.Б.}} = Ц_{\text{ПЕРВ.}} - (Ц_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.18)$$

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

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

$N_A$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

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

$$Ц_{\text{ОБ.Баз.}} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 142000 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 142000 \cdot 0,46 = 65320 \text{ рублей}$$

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

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = K_{\text{ОБ.ПР}} + K_{\text{ПЛ.ПР}} + K_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.19)$$

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

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

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



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

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

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

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = 700000 \cdot 1,05 \cdot 0,20 = 147000 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

$$K_{\text{МОНТ}} = 700000 \cdot 0,05 = 35000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{СОП}} = 20000 + 35000 = 55000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 147000 + 55000 = 202000 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$K_{\text{ДОП}} = 202000 - 65320 = 136680 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

$$K_{\text{удБаз.}} = 65320/200 = 326,60 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 202000 / 200 = 1010 \text{ руб./ед.}$$

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

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

$$\Delta t_{\text{ШТ}} = \frac{t_{\text{ШТБ}} - t_{\text{ШТПР}}}{t_{\text{ШТБ}}} \cdot 100\% . \quad (4.26)$$

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

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{4,84 - 2,06}{4,84} \cdot 100\% = 57\%$$

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

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

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

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 57}{100 - 57} = 133\%$$

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

$$\Delta C_{\text{тех}} = \frac{C_{\text{техб}} - C_{\text{техпр}}}{C_{\text{техб}}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

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

$$\Delta C_{\text{тех}} = \frac{6686,90 - 4015,25}{6686,90} \cdot 100\% = 40\%$$

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

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

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

$$Э_{у.г.} = (15921,62 - 8120,42) \cdot 200 = 1560240 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$T_{ок} = \frac{136680}{1560240} = 0,08$$

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

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

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

$$\text{Эг} = 1560240 - 0,33 \cdot 136680 = 1515135,6 \text{ руб.}$$

### **Заключение по экономическому разделу**

Базовый вариант технологии ремонтной подводной сварки с применением мокрой ручной дуговой сварки сопровождается получением большого числа дефектов и необходимостью их исправления. В проектном варианте технологии предложено использовать механизированную сварку в углекислом газе с применением мини-кессона. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоемкость на 57 %, увеличивается производительность труда на 133 %, уменьшается технологическая себестоимость на 40 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 1,56 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,51 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 0,08 года.

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

## Заключение

Поставленная в выпускной квалификационной работе цель – повышение производительности и качества подводной ремонтной сварки за счёт применения современных технологий.

При анализе базовой технологии мокрой ремонтной сварки с применением штучных электродов выявлены её недостатки: 1) низкая производительность сварки; 2) значительно ухудшается видимость сварного шва из-за образования мути; 3) качество работ существенно зависит от квалификации сварщика-водолаза; 4) прерывание сварки на замену электрода.

Анализ известных решений по теме выпускной квалификационной работы позволил сформулировать задачи: 1) анализ современной научно-технической информации по вопросу подводной ремонтной сварки; 2) предложить способ, оборудование и сварочные материалы для подводной ремонтной сварки; 3) составить проектную технологию подводной ремонтной сварки.

Решая первую задачу, выполнен поиск и анализ научно-технической информации по вопросу ремонтной подводной сварке произведён с использованием поисковой системы GOOGLE по ключевым словам «Автоматическая сварка», «Сварочное производство», «подводная сварка», «диссертация», «научная статья». Сформулированы основные направления по построению технологии подводной сварки.

Решая вторую задачу, был предложен способ подводной механизированной сварки в мини-кессоне. Решая третью задачу, была составлена проектная технология подводной ремонтной сварки.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 1,51 млн. рублей.

Таким образом, поставленная цель достигнута.

## Список используемой литературы

1. Кононенко, В.Я. Подводная сварка и резка / В.Я. Кононенко. – К. : Університет «Україна». – 2011. – 264 с.
2. Авилов, Т. И. Исследование процесса дуговой сварки под водой / Т. И. Авилов // Сварочное производство. – 1958. – № 5. – С. 12–14.
3. Мадатов, Н.М. Подводная сварка и резка металлов / Н.М. Мадатов. – Л. : Судостроение, 1967. – 164 с.
4. Лесков, Г. И. Энергетические параметры дуги в условиях гидростатического давления до 5 МПа / Г. И. Лесков, О. М. Потиха // Автоматическая сварка. – 1999. – № 1. – С. 15–18.
5. Лесков, Г. И. Энергетические характеристики дуги со стальными электродами в атмосфере водорода / Г. И. Лесков // Автоматическая сварка. – 1993. – № 10. – С. 3–5.
6. Грецкий, Ю. Я. Влияние флюорита в рутиловом покрытии на содержание водорода в металле шва при подводной сварке / Ю.Я. Грецкий, С. Ю. Максимов, Н. В. Кравченко // Автоматическая сварка. – 1993. – № 8. – с. 54.
7. Походня, И.К. Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов / И.К. Походня, В.Н. Горпенюк, С.С. Миличенко [и др.]. – К. : Наукова думка, 1990. – 221 с.
8. Шлепаков, В.Н. Идентификация состава порошковых проволок по электрическим сигналам дуговой сварки / В.Н. Шлепаков, А.С. Котельчук, С.А. Супрун // Автоматическая сварка. – 1999. – № 8. – С. 37–42.
9. Stephen, L. A Decade of Progress in Underwater Wet Welding Using the SMAW Process (1990–2003) / L. Stephen // ASME – 2004. – 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAЕ2004). June 20–25, 2004, Vancouver, British Columbia, Canada. – Vol. 2. – P. 927–934.



10. Савич И. М., Смолярко В. Б., Камышев М. А. Технология и оборудование для полуавтоматической подводной сарки металлоконструкций // Нефтепромысловое строительство. – 1976. – № 1. – С. 10–11.

11. Кононенко В. Я., Рыбченков А. Г. Опыт мокрой механизированной сварки самозащитными порошковыми проволоками при ремонте под водой газо- и нефтепроводов // Автоматическая сварка. – 1994. – № 9/10. – С. 29–32.

12. Кононенко В. Я., Грицай П. М. Мокрая механизированная сварка при ремонте корпусов судов // Морской флот. – 1994. – № 11–12. – С. 21–22.

13. McKeown D., Abson D. Wet welding repairs // Shipping World and Shipbuilder. – 2006. – 207, № 5. – P. 24–26, 28.

14. Rowe M., Liu S. Recent developments in underwater wet welding // Sci. and Technology of Welding & Joining. – 2001. – 6, № 6. – P. 387–396.

15. Dariusz F., Grzegorz R. Effect of shielded-electrode wet welding conditions on diffusion hydrogen content in deposited metal // Welding International. 2011. – 25, № 3. – P. 166–171.

16. Мадатов, Н.М. Подводный ремонт кораблей и судов. – М.: Воен. изд-во МО СССР, 1965. – 280 с.

17. Грецкий, Ю.Я. Влияние компонентов электродного покрытия па формирование металла шва при ручной сварке под водой / Ю.Я. Грецкий, С.Ю. Максимов // Автоматическая сварка. – 1994. – № 7/8. – С. 15–17.

18. Грецкий, Ю.Я. Структура и свойства соединений низколегированных сталей при подводной мокрой сварке покрытыми электродами / Ю.Я. Грецкий, С.Ю. Максимов // Автоматическая сварка. – 1995. – № 5. – С. 7–11.

19. Гривняк, И. Свариваемость сталей / И. Гривняк. – М. : Машиностроение, 1984. – 215 с.

20. Granjon, H. Cold cracking in the welding of steels / H. Granjon // Welding in the world. – 1971. – № 11/12. – p. 382–396.

21. Оценка критериев свариваемости под водой низколегированных сталей / И. М. Савич [и др.] // Свариваемость и технология сварки конструкционных сталей и чугунов : сб. науч. ст. – К. : ИЭС им. Е.О. Патона, 1985. – С. 22–26.
22. Intelligent control for the shape of the weld pool in pulsed GTAW with filler metal / D. B. Zhao, S. B. Chen, L. Wu et al. // Welding Res. – 2001. – № 11. – P. 253–260.
23. Патон, Б.Е. К 100-летию сварки под водой / Б.Е. Патон, И.М. Савич // Автоматическая сварка. – 1987. – № 12. – С. 1–2.
24. Кононенко, В.Я. Технология мокрой механизированной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» / В.Я. Кононенко // Автоматическая сварка. – 2005. – № 9. – С. 37–39.
25. Кононенко, В.Я. Подводная сварка и резка / В.Я. Кононенко. – Киев: Экотехнология, 2011. – 264 с.
26. Совершенствование оборудования для подводной механизированной и автоматизированной сварки и резки порошковой проволокой / Б. Е. Патон, В. А. Лебедев, С. Ю. Максимов и др. // Сварка и Диагностика. 2011. № 5. С. 54–59.
27. Новое поколение полуавтоматов для подводной механизированной сварки и резки / К. А. Ющенко, В. А. Лебедев, В. Г. Пичак, С. Ю. Максимов // Сварка и Диагностика. 2009. № 4. С. 31–36.
28. Гагин, А.А. Сварка под водой / А.А. Гагин, Н.С. Денисенко, Е.П. Олейников // Решетневские чтения. – 2017. – С. 482–484.
29. Хаустов, Ю.А. Оборудование и технологии механизированной сварки в мини-кессоне для ремонта подводных переходов магистральных трубопроводов / Ю.А. Хаустов, О.Б. Гецкин, Е.М. Вышемирский [и др.] // Сварка и диагностика. – 2013. – № 2. – С. 52–57.

30. Кононенко, В.Я. Современное состояние подводной сварки и резки в Украине / В.Я. Кононенко // Автоматическая сварка. – 2003. – № 2. – С. 44–48.

31. Каховский, Н.Ю. Влияние состава шихты порошковой проволоки на стабильность процесса горения дуги при мокрой подводной сварке / Н.Ю. Каховский, С.Ю. Максимов // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування. – 2014. – № 6. – С. 29–33.

32. Каховский, Н.Ю. Исследование влияния фторидов на стабильность горения дуги при сварке высоколегированных коррозионностойких сталей типа 18-10 / Каховский Н. Ю., Максимов С. Ю., Фадеева Г. В. [и др.] // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. – 2014. – № 2. С. 18–22.

33. Ющенко, К.А. Исследование химического состава и структуры металла швов типа Х20Н9Г2Б, полученных при мокрой подводной сварке / К.А. Ющенко, А.В. Булат, Н.Ю. Каховский // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6–7, С. 139–142.

34. Скачков, О.И. К вопросу применения нейронных сетей для контроля качества сварных соединений при подводной сварке / И.О. Скачков, А.Е. Пирумов, С.Ю. Максимов, Е.А. Прилипко // Автоматическая сварка. – 2006. – № 6. – С. 27–31.