

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 подводной ремонтной сварки

Обучающийся

А.А. Угольников

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Цель настоящей выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества подводной ремонтной сварки за счёт внедрения современных достижений в области сварочных технологий.

Применение традиционной «мокрой» сварки штучными электродами имеет ряд существенных недостатков, которые заставляют проводить работы по усовершенствованию технологического процесса подводной сварки и поиска альтернативных решений.

На основании разработок отечественных и зарубежных авторов предложена технология гипербарической сварки, позволяющей сочетать положительные особенности подводной «сухой» и подводной «мокрой» сварки. Для обеспечения защиты места сварки от воды предлагается использовать мини-кессоны, в которые подается защитный газ под давлением, превышающим давление воды на рабочей глубине на 50 %. Сварку предлагается вести проволокой сплошного сечения.

Составлена технология исправления поверхностных дефектов стенки трубы на подводной части трубопроводов, сформулированы требования к выполнению выборки, сварке и контролю качества.

При выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы проведён анализ проектной технологии на предмет возникновения опасных и вредных производственных факторов. На основании идентификации этих факторов выполнен поиск технических решений и организационных мероприятий по их нейтрализации.

Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на 40 %. Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 1,52 млн. рублей.

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение .....   | 5  |
| 1 Современное состояние ремонтной подводной сварки. ....   | 7  |
| 1.1 Общая информация о рассматриваемом способе сварки. ....  | 7  |
| 1.2 Особенности базового процесса ремонтной подводной сварки. ...  | 8  |
| 1.3 Разделение подводной сварки на «мокрую» и «сухую» сварку. ...  | 10 |
| 1.4 Подводная сварка покрытыми электродами. ....   | 13 |
| 1.5 Подводная сварка с применением самозащитной порошковой<br>проволоки. ....                                    | 16 |
| 1.6 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. ....   | 17 |
| 2 Построение проектной технологии подводной сварки. ....   | 19 |
| 2.1 Анализ источников научно-технической информации по вопросы<br>повышения эффективности подводной сварки. .... | 19 |
| 2.2 Выбор оборудования для проведения сварки. ....   | 21 |
| 2.3 Технология подводной ремонтной сварки. ....  | 26 |
| 2.4 Контроль качества при подводной сварке. ....   | 31 |
| 3 Экологическое обоснование выпускной квалификационной работы. ...   | 34 |
| 3.1 Описание рассматриваемого технического объекта. ....   | 34 |
| 3.2 Идентификация негативных производственных факторов. . ....   | 36 |
| 3.3 Снижение профессиональных рисков. ....   | 38 |
| 3.4 Вопросы обеспечения экологической безопасности. ....   | 40 |
| 4 Экономическое обоснование предлагаемых решений. ....   | 42 |
| 4.1 Исходная информация для выполнения экономического<br>обоснования. ....                                       | 42 |
| 4.2 Расчёт фонда времени. ....   | 44 |
| 4.3 Штучное время по базовому и проектному вариантам<br>технологии. ....   | 45 |
| 4.4 Технологическая, цеховая и заводская себестоимости по<br>вариантам технологии. ....                          | 47 |

|  |    |
|--|----|
| 4.5 Расчёт капитальных затрат по проектной и базовой технологии. . . | 51 |
| 4.6 Показатели эффективности предлагаемых решений. . . . .           | 53 |
| Заключение . . . . .   | 56 |
| Список используемой литературы и используемых источников. . . . .    | 58 |

## Введение

Повышение рисков эксплуатации водного транспорта заставляет повсеместно внедрять технологии ремонта. Так, начиная с 1930 года подводная ремонтная сварка начинает получать всё более широкое распространение в нашей стране. Она применялась для ремонта кораблей, получивших повреждения при ошибках навигации и в ходе боевых действий [15]. При этом основным заказчиком работ для проведения подводной сварки выступало Министерство обороны. Далее подводная сварка начала широко применяться «при выполнении ремонтных работ на подводных трубопроводах и сооружениях различного назначения» [2], [3], [11], [14].

«В основном технология подводной ремонтной сварки базируется на применении мокрой сварки» [2], в ходе которой расходуются специальные покрытые электроды. Этот способ характеризуется минимальными затратами на водолазное оборудование и сварочные материалы. Однако для него характерна повышенная скорость охлаждения металла и содержание водорода в металле сварного шва. В результате при мокрой сварке существенно повышается опасность получения трещин, особенно при выполнении сварочных работ на конструкциях из низколегированных сталей [7], [11], [13]. При мокрой сварке горение дуги происходит в сравнительно малом объёме, который образующимся при сварке парогазовым пузырем. Ускоренное окисление легирующих элементов при мокрой сварке объясняется водородно-кислородной атмосферой парогазового пузыря. Кроме того, значительное содержание водорода приводит к повышению его концентрации в металле сварного шва. Кроме повышенного трещинообразования мокрая сварка характеризуется значительным количеством закалочных структур, которые наиболее сильно проявляются при сварке сталей типа 17Г1С или класса прочности Х60 [34].

Также следует указать на факторы, оказывающие отрицательное влияние на стабильность горения дуги при подводной мокрой сварке.

Условия, в которых происходит горение дуги при подводной сварке, имеют существенные отличия от условия при сварке на воздухе. Вода, которая со всех сторон окружает место сварки, практически не сжимается, имеет повышенную вязкость и плотность. При сравнении с воздухом плотность воды оказывается в 850 раз больше, теплопроводность больше в 25 раз, а теплоемкость выше в 4 раза [12]. Кроме того, сварка на глубине приводит к повышению давления, которое возрастает пропорционально увеличению глубины.

Для подводной мокрой сварки помимо электродов со специальным покрытием получили применение порошковые проволоки [9], [26]. Стабильность горения дуги и качество сварного шва в значительной мере определяются правильным выбором параметров режима сварки, соблюдением техники сварки, особенностями источника питания и составом порошковой проволоки. Существенное повышение качества сварки удаётся достигнуть при получении мелкокапельного переноса электродного металла. Сама порошковая проволока должна содержать значительное количество фторидов, которые позволяют эффективно удалять водород из металла сварочной ванны. Однако высокое содержание фторидов может отрицательно влиять на пространственную стабильность сварочной дуги, что подтверждается многими исследованиями [24], [28].

Следует признать высокий потенциал механизированной подводной сварки, которая позволяет существенно повысить производительность и качество по сравнению со сваркой покрытыми электродами, но внедрение этого способа заставляет проводить исследования по повышению эффективности [11], [14].

Вышеизложенное позволяет утверждать об актуальности представляемой на защиту работы и её цели – повышение производительности и качества подводной ремонтной сварки за счёт внедрения современных достижений в области сварочных технологий.

# 1 Современное состояние ремонтной подводной сварки

## 1.1 Общая информация о рассматриваемом способе сварки

На рисунке 1 представлен процесс подводной ремонтной сварки трубопровода. Процесс был предложен в 1887 году учеными-сварщиками Д. А. Лачиновым и Н. Н. Бенардосом, которые предложили для сварки применить угольный электрод и успешно испытали подводную сварку для сварки в пресной воде [23]. Таким образом, история развития подводной сварки насчитывает более сотни лет. Несмотря на это, основное развитие подводной сварки следует отнести к периоду начиная с 40-х годов прошлого века, когда перед промышленностью встал вопрос обеспечения ремонтных и монтажных работ на объектах нефтяного месторождения Каспия. Также подводная сварка широко применяется при проведении ремонтных работ на трубопроводах, проложенных в руслах водоёмов.



Рисунок 1 – Подводная ремонтная сварка трубопровода

При проведении восстановительных работ после второй мировой спецоперации и настоящей спецоперации количество объектов, которые необходимо восстанавливать с применением подводной сварки, существенно возрастает. Следует отметить, что широкое применение подводной ремонтной сварки до настоящего времени сдерживается тяжелыми условиями труда сварщика-водолаза. Подводная сварка помимо ремонтных работ на трубопроводах применяется для возведения подводных опор

причалов, переходов. Также подводная сварка широко применяется при ремонте корпусов судов без использования сухих доков [16]. Устранение последствий недружественных проявлений в портах различных городов в ближайшее время потребует повышения объёмов ремонтных работ с применением подводной сварки.

## **1.2 Особенности базового процесса ремонтной подводной сварки**

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварочных технологий при проведении ремонта на подводной части магистрального газопровода. В случае обнаружения дефекта с остаточной толщиной стенки трубы более 5 мм возможна заварка раковины с применением дуговых способов. В случае остаточной толщины стенки трубы менее 5 мм заварку не выполняют, а дефект устраняют с применением ремонтной муфты. Применение восстановительной наплавки позволяет устранить поверхностный дефект на трубе, возвращая толщину её стенки до номинального размера. Наплавка по поверхности трубы позволяет исправить множественную коррозию.

Таким образом, для заварки отдельных раковин и оспин применяют заварку каждого дефекта в отдельности, а для исправления множественной коррозии применяют поверхностную наплавку.

При проведении ремонтных работ под водой следует принимать во внимание плохую видимость и ограниченность движений водолаза-сварщика. Исходя из этого особое внимание следует уделить качеству проведения подготовительных работ, в частности, подготовку поверхности трубы под проведение ремонтной сварки и наплавки. Следует проводить зачистку до металлического блеска мест сварки, удалять загрязнения и краску. Сборка под сварку должна выполняться с минимальными зазорами, все элементы следует максимально плотно подгонять друг у другу.



Место выполнения ремонтной сварки и наплавки зачищается с применением проволочной щётки. При этом следует удалить все обрастания, грязь и остатки ила. После очистки выполняют подрубание раковины с применением зубила. Также для подготовки поверхности дефекта под наплавку может быть применена электрокислородная строжка.

При выполнении ремонтной сварки и наплавки наложение каждого последующего валика должно выполняться после того, как был тщательно очищен предыдущий валик. Очистку предыдущего валика проводят с применением проволочной щетки. По мере наложения наплавочных валиков выполняют последовательную заварку полости разделанного дефекта.

Самой распространённой и до настоящего момента не до конца решенной проблемой следует признать образование трещин при подводной сварке конструкций из легированных сталей [25]. Вероятность получения холодных трещин в сварных конструкциях повышается, если структура металла сварного шва и околошовной зоны имеет высокую чувствительность к водороду. В качестве такой структуры, для которой следует ожидать повышенной опасности трещин, следует указать мартенсит и нижний бейнит, которые характерны для сварки сталей повышенной прочности и низколегированных сталей. Существенное влияние на трещинообразование оказывает диффузионный водород, источником которого служит металл сварного шва. Также для образования трещин необходимо наличие высокого уровня растягивающих напряжений.

Сварка под водой проходит в неблагоприятных условиях, при этом существенное повышение опасности трещинообразования происходит по причине «повышенного содержания диффузионного водорода и значительного количества образующихся при сварке закалочных структур. Величина растягивающих напряжений при подводной сварке существенно ниже» [13] по сравнению со сваркой на воздухе, что объясняется высокой скоростью охлаждения металла. Однако совокупное действие описанных факторов приводит к повышению опасности образования трещин.

### 1.3 Разделение подводной сварки на «мокрую» и «сухую» сварку

В зависимости от условий проведения подводная сварка разделяется на «мокрую» сварку и «сухую» сварку. При проведении «мокрой» сварки варочной ванны и электродного металла обеспечивается естественным газовым пузырьком, который образуется при горении разложении воды в процессе горения сварочной дуги. При «мокрой» сварке в качестве сварочных материалов выступают штучные электроды и порошковая проволока. Применение штучных электродов по сравнению с механизированной сваркой проволокой имеет такой недостаток, как необходимость прерывания процесса сварки для замены сварочного электрода. Сварка с применением проволоки по сравнению со сваркой штучным электродом позволяет существенно повысить производительность и качество работ [22]. На рисунке 2 представлена схема выполнения «мокрой» сварки.

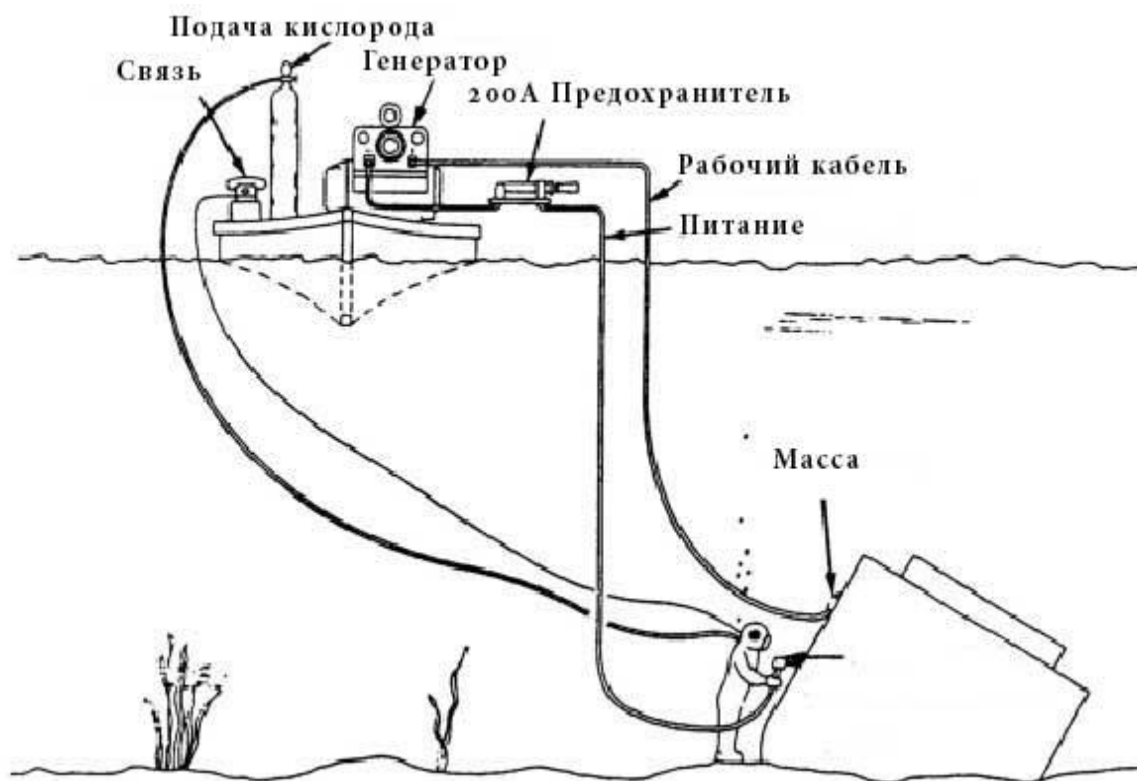
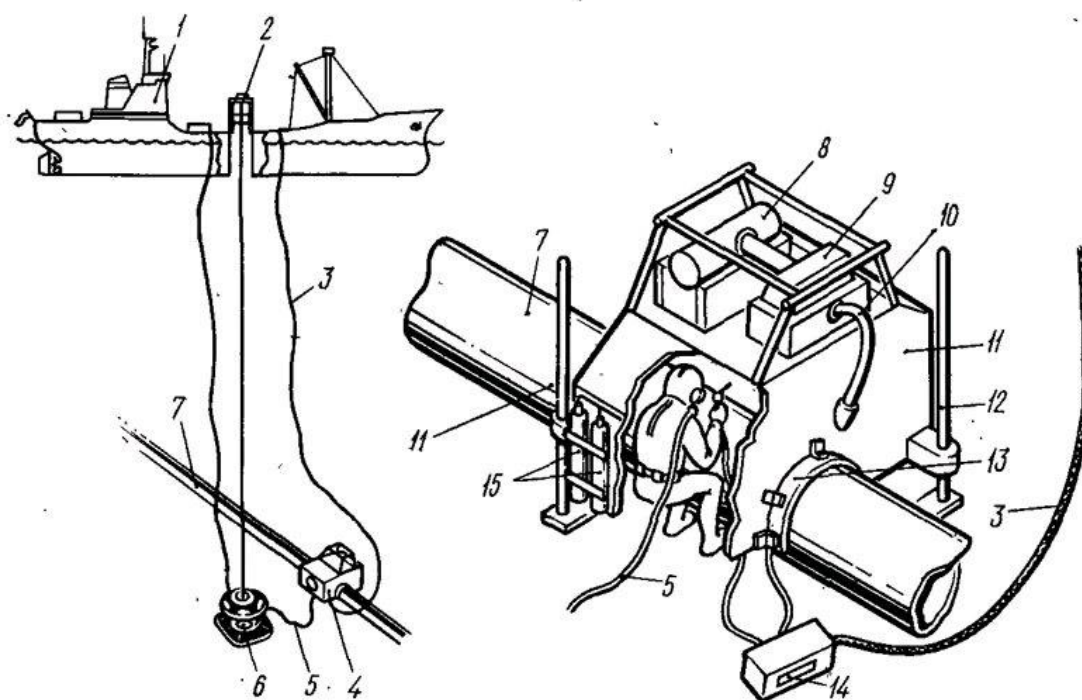


Рисунок 2 – Схема выполнения «мокрой» сварки под водой

Среди отечественных разработок для сварки под водой следует отметить аппарат «Нептун-7», который разработан сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона. Данный аппарат позволяет вести уверенную сварку на глубине до 200 метров. Это предельная глубина, на которой возможна работа водолаза с применением специального оборудования. Положительными особенностями «мокрой» сварки является относительная простота процесса, что позволяет получить минимальную стоимость работ. В качестве существенных недостатков «мокрой» сварки следует указать высокую склонность к образованию пор и трещин. Повышенное образование трещин объясняется увеличенным количеством закалочных структур и содержанием водорода в металле сварного шва. Кроме того, при «мокрой» сварке наблюдается увеличенное выгорание легирующих элементов, а сварка в потолочном положении сильно затруднена. Из-за недостатков «мокрой» сварки её стараются не применять при выполнении работ на ответственных объектах, стараясь отдавать предпочтение «сухой» сварке.

Вторым способом организации сварки под водой является так называемая «сухая» сварка, которая «предусматривает использование глубоководной камеры, погружаемой и устанавливаемой на изделия. Сам сварщик в процессе выполнения работ располагается в кессоне» [13], что позволяет ему относительно свободно перемещаться и выполнять сварку в труднодоступных местах. Схема выполнения «сухой» представлена на рисунке 3. Главным недостатком «сухой» сварки является необходимость применения металлоемких и крупногабаритных погружных конструкций (кессонов), обеспечивающих размещение сварщика под водой. Также требуется применение специальной грузоподъемной техники для манипуляций с кессонами. Преимуществом «сухой» сварки является высокое качество соединений, которое не уступает качеству сварки на воздухе. С применением «сухой» сварки выполняются сварочные работы при монтаже и ремонте ответственных конструкций.



«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» [21]

Рисунок 3 – Схема проведения «сухой» сварки под водой

Сочетанием преимуществ «сухой» и «мокрой» сварок обладает гипербарическая сварка [31], для выполнения которой применяется специальная камера, закрепляемая над местом сварки. Сам сварщик находится снаружи камеры, а в самой камере поддерживается специальная газовая атмосфера, обеспечивающая защиту сварочной ванны и электродного металла. Избыточное давление в камере обеспечивает вытеснение из неё воды. Сварка выполняется с применением проволоки сплошного сечения или порошковой проволоки. Для обеспечения надлежащего качества сварки следует обеспечить плотное прилегание стенок защитной камеры к свариваемому изделию, что достигается за счёт применения специальных уплотнительных элементов.

#### 1.4 Подводная сварка покрытыми электродами

«В течение длительного времени для подводной сварки успешно применялись покрытые электроды марок ЭПС-5, ЭПС-35, ЭПО-55, ЛПС-4, ЛПС-5, ЛПС-5, а так же значительное количество других марок, специально разработанных для условий подводной сварки» [20]. Основное производство электродов для проведения подводной сварки располагалось на предприятии «28-й опытный военный завод», который находился в г. Ломоносов. Значительное количество электродов для подводной сварки изготавливались самостоятельно крупными производителями работ. Применение таких электродов характеризовалось низкой стабильностью горения дуги и качества сварных соединений. Получаемые валики сварного шва имели грубую чешуйчатость, шлак отделялся не полностью, что затрудняло выполнение многопроходных швов. Самые положительные оценки получили электроды ЭПС-52, качество сварки которыми примерно соответствовало качеству сварки на воздухе электродами Э34. Длительное время выпуск таких электродов был прекращён, но в настоящее время в связи с возросшей необходимостью проведения ремонтных работ под водой с применением сварочных технологий выпуск электродов предприятием «28-й опытный военный завод» возобновился.

На рисунке 4 представлена схема выполнения подводной «мокрой» сварки покрытыми электродами. Горение сварочной дуги происходит в атмосфере парогазового пузыря, который на схеме обозначен позицией 10. Сама сварочная дуга, обозначенная на схеме позицией 5, горит между стержнем электрода (обозначен позицией 4) и расплавленным металлом сварочной ванны (обозначена позицией 6). Атмосфера парогазового пузыря 10 и состав наплавленного металла (обозначен на схеме позицией 8) определяется составом обмазки электрода (обозначена на схеме позицией 3). Защита нагретого наплавленного металла 8 от воды обеспечивается шлаковой коркой (обозначена на схеме позицией 9). Следует отметить, что

наблюдение за местом сварки при проведении сварки под водой затрудняется по причине образования облака аэрозоля (мути), которое на схеме обозначено позицией 1 и пузырьками газа из парогазового пузыря, которые обозначены на схеме позицией 2.

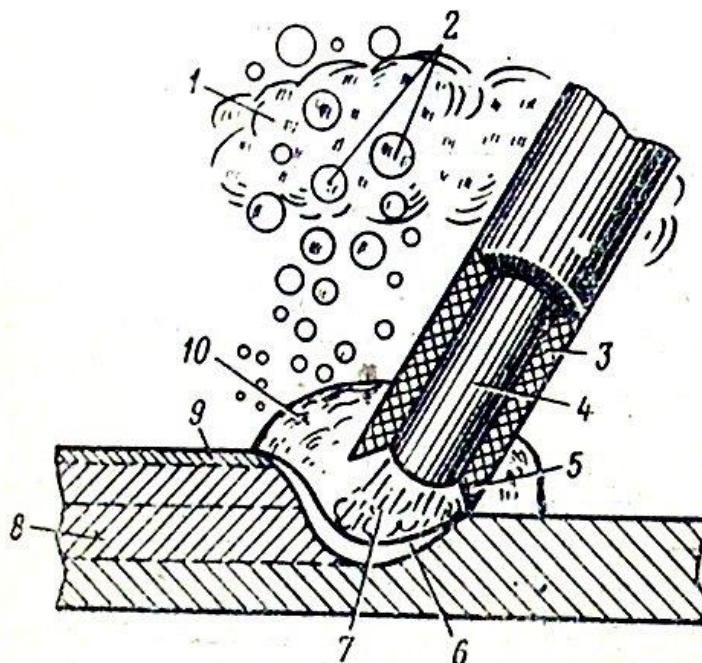


Рисунок 4 – Принципиальная схема выполнения подводной сварки покрытым электродом

Широкое применение подводной мокрой сварки штучными электродами объясняется её положительными особенностями перед другими способами подводной сварки [29]. Первым преимуществом следует указать высокую мобильность способа, поскольку при его осуществлении не требуется применения дополнительных приспособлений и оборудования помимо сварочного и глубоководного оборудования. Вторым преимуществом следует указать высокую универсальность способа, которая позволяет применять для его осуществления широкую линейку передвижных сварочных агрегатов с автономным приводом. Третьим преимуществом является хорошая защита каплей расплавленного электродного металла, качество которой значительно превосходит защиту при сварке с использованием порошковых проволок. Четвертым преимуществом следует считать возможность обратного формирования валика при выполнении корневого слоя шва.

Следует указать и недостатки подводной сварки штучными электродами, наличие которых заставляет искать замену этого способа другими способами проведения подводной сварки. Первым недостатком является малая производительность процесса, которая существенно уступает механизированным способам сварки. Вторым недостатком является значительное количество образующейся при сварке мути, которая сильно ухудшает видимость места сварки и отрицательно влияет на качество сварки. Третьим недостатком является низкая стабильность свойств наплавленного металла, которые существенно зависят от квалификации и кондиций сварщика, а также от глубины выполнения подводных работ.

На современном рынке сварочных материалов для проведения подводной сварки представлены электроды Э38-ЛКИ-1П производства АО «Электронный завод», разработка которых велась в Санкт-Петербургском морском техническом университете. Эти электроды могут применяться для сварки углеродистых и низколегированных сталей и выпускаются предприятием партиями под заказ.

По результатам многолетних исследований коллективом ИЭС им. Е. О. Патона разработаны электроды с оригинальной газошлаковой композицией ЭПС-АН1 [5], [8]. Эти электроды позволяют получить стальное качество при сварке в любых пространственных положениях при проведении работ на глубине до 20 метров и могут применяться для сварки углеродистых и низколегированных сталей. Качество наплавленного металла при применении этих электродов соответствует качеству металла при сварке на воздухе с применением электродов Э-42. По технологическим свойствам электроды ЭПС-АН1 существенно превосходят ранее применяющиеся для подводной сварки электроды Э38-ЛКИ-1П производства АО «Электронный завод».

Недостатки сварки покрытым электродом заставляют повсеместно искать замену этому способу, отдавая предпочтение механизированным способам сварки.

## **1.5 Подводная сварка с применением самозащитной порошковой проволоки**

Для решения задач Министерства обороны ПО расширению технологических возможностей подводной мокрой сварки с применением механизированной сварки был разработан ряд самозащитных проволок [5], [8] в числе которых особый интерес представляет проволока ППС-АН1. Конструкция проволоки позволяет подавать её в подающий механизм, заполненный водой. Применение этой проволоки позволяет отказаться от подачи в зону горения дуги защитного газа, что существенно упрощает проведение сварки в подводных условиях. Также отпала необходимость подачи защитного вытесняющего газа в саму полость полуавтомата. Так как объём подаваемого защитного газа существенно уменьшается, снижается объём образующейся при сварке газовой смеси, становится возможным визуально контролировать процесс формирования сварного шва. Применение порошковых проволок в подводной сварке позволяет предложить новые конструкции полуавтоматов, работа которых стабильно проходит при сварке на значительной глубине. Полуавтоматы А-1450 и ПШ-141 успешно прошли государственные испытания и применяются для проведения спасательных работ и работ иного рода, выполняемых подразделениями Министерства обороны. Серийный выпуск материалов и оборудования для подводной сварки налажен на Опытном заводе сварочного оборудования им. Е. О. Патона. Для выполнения подводной сварки на гражданских объектах предложены полуавтоматы ПШ-146 и А-1660.

«Разработанные ИЭС им. Е. О. Патона порошковый проволоки для подводной сварки ППС-АН1 и ППС-АН5 позволяют выполнять сварку конструкций из стали ВСт3сп, 09Г2, 19Г на глубине до 20 метров. Проволока ППС-АН1 предназначена для сварки в пресной воде, проволока ППС-АН5 предназначена для сварки в солёной воде» [20]. Сварка этими проволоками позволяет получить качество наплавленного металла аналогичное качеству



при сварке на воздухе электродами Э-42. Возможно применение этих проволок на глубине более 20 метров, но при этом качество сварных швов ухудшается.

Для того, чтобы успешно бороться с растворением водорода в металле шва при подводной сварке в составе сердечника самозащитной проволоки должно быть значительное количество фторидов. В процессе горения сварочной дуги пары воды вступают в реакцию со фтористыми соединениями, в результате этой реакции образуется термически устойчивый фтористый водород. Для связывания водорода во фтористый водород предлагается в сердечник проволоки вводить фторид кальция [6]. Введение фторида кальция в сердечник порошковой проволоки позволяет снизить концентрацию водорода в металле сварного шва, но значительные объёмы фторида кальция нарушают пространственную стабильность горения дуги, а перенос электродного металла становится крупнокапельным, что подтверждается рядом исследовательских работ [24], [28].

Повышение стабильности горения дуги при проведении работ под водой предлагается вводить в состав сварочной проволоки соединения редкоземельных металлов, щелочных и щелочно-земельных металлов, которые имеют низкой потенциал ионизации. Проведенные исследования показали положительный результат при сварке низкоуглеродистых сталей, но применительно к сварке коррозионно-стойких сталей исследования проведены не были [30].

## **1.6 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса расширения технологических возможностей сварки при проведении ремонтных работ под водой. Применение традиционной «мокрой» сварки штучными электродами имеет ряд существенных недостатков, которые

заставляют проводить работы по усовершенствованию технологического процесса подводной сварки и поиска альтернативных решений.

Первым недостатком является малая производительность процесса сварки. Вторым недостатком является снижение видимости зоны сварки из-за значительного количества образующейся мути. Третьим недостатком является существенная зависимость качества сварки от квалификации сварщика, его кондиций и условий проведения сварки. Четвертым недостатком является необходимость периодической остановки процесса сварки для замены электрода, что комплексно снижает как производительность процесса, так и качество сварного соединения.

Устранение перечисленных недостатков возможно при внедрении в технологический процесс способа, который позволит сочетать преимущества «сухой» и «мокрой» сварки. На основании проведенного анализа состояния вопроса могут быть сформулированы задачи настоящей выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа подводной сварки на основании анализа источников научно-технической информации.

Второй задачей является выбор оборудования для осуществления выбранного способа подводной сварки.

Третьей задачей является построение проектного технологического процесса.

После решения задач исполнительского раздела предстоит выполнить два оценочных раздела.

В первом оценочном разделе следует идентифицировать опасные и вредные производственные факторы, которые сопровождают реализацию предлагаемых технологических решений.

Во втором оценочном разделе предстоит выполнить экономическое обоснование предлагаемых проектных решений на основании сравнения экономических показателей проектного и базового вариантов технологии.

## **2 Построение проектной технологии подводной сварки**

### **2.1 Анализ источников научно-технической информации по вопросам повышения эффективности подводной сварки**

Предстоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности подводной сварки. Поиск источников информации проводился в сети ИНТЕРНЕТ по ключевым словам «подводная сварка», «диссертация», «журнал сварочное производство», «журнал автоматическая сварка». Также предусматривается применение таких баз знаний, как «Киберленинка» и «Диссеркэт».

Первая работа [9] посвящена повышению эффективности подводной мокрой сварки порошковой проволокой за счёт компонентов-стабилизаторов, вводимых в состав шихты порошковой проволоки. В работе рассматривался вопрос выполнения конструкций из стали 12Х18Н10Т. Авторами работы являются Каховский Н. Ю., Максимов С. Ю. – сотрудники института электросварки им. Е. О. Патона (Украина)

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы и анализе известных решений при обосновании выбора способа сварки.

Вторая работа [10] посвящена повышению эффективности подводной сварки конструкций из нержавеющей сталей за счёт введения в состав шихты порошковой проволоки таких компонентов, как фторид кальция, фтористый натрий и криолит натрия. Авторами работы являются Каховский Н. Ю., Максимов С. Ю., Фадеева Г. В. – сотрудники института электросварки им. Е. О. Патона (Украина) и Донбасской государственной машиностроительной академии.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы и анализе известных решений при обосновании выбора способа сварки.

Третья работа [15] посвящена анализу состояния подводной сварки, в работе рассмотрено значительное количество источников информации, представлена информация о различных способах сварки. Первый рассмотренный способ – сварка под водой покрытыми электродами. Вторым рассмотренным способом – мокрая механизированная подводная сварка. Третий способ – подводная сварка с локальным осушением рабочей зоны.

Данная работа будет очень полезной при анализе состояния вопроса и обосновании выбора способа подводной сварки. Автором работы является Кононеко В. Я. – сотрудник ООО «Экотехнология», г. Киев, Украина.

Четвёртая работа [32] посвящена повышению эффективности подводной сварки с применением покрытых электродов. Установлено, что в сварном шве «при выполнении подводной сварки наблюдается повышение содержания водорода и кислорода по сравнению со сваркой на воздухе. При этом содержание кислорода повышается в 1,2...1,4 раза, а содержание водорода повышается в 1,7...2,1 раза» [32]. Для снижения содержания в сварном шве кислорода и водорода предлагается выполнять сварку электродами малого диаметра. Также в покрытие электрода необходимо вводить такие вещества, как  $\text{CaF}_2$  и  $\text{TiO}_2$ . Авторами работы являются Ющенко К. А., Булат А. В., Каховский Н. Ю. – сотрудники института электросварки им. Е. О. Патона (Украина).

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранной темы выпускной квалификационной работы и анализе известных решений при обосновании выбора способа сварки.

Пятая работа [27] посвящена повышению достоверности оценки качества соединений, выполненных подводной сваркой. Авторами работы являются Сачков И. О., Пирумов А. Е., Максимов С. Ю. – сотрудники института электросварки им. Е. О. Патона (Украина) и НТТУ «Киевский политехнический институт».

Результаты этой работы будут использованы при составлении проектной технологии подводной сварки.

## 2.2 Выбор оборудования для проведения сварки

Применение гибридной подводной сварки, при которой происходит вытеснение воды из зоны горения сварочной дуги за счёт локального ограничения объема с подачей туда защитного газа под избыточным давлением, позволяет реализовать сочетание положительных особенностей «мокрой» сварки и «сухой» сварки. Формирование вокруг места сварки сухой газовой среды происходит за счёт применения накладных монтажных камер, устанавливаемых на участке трубопровода. Схема такой гипербарической камеры представлена на рисунке 5. Ремонтируемая конструкция (участок трубопровода) обозначены на схеме позицией 1. На этот участок трубопровода устанавливается накладная сварочно-монтажная камера. При помощи стяжного пояса, который обозначен на схеме позицией 2, на поверхности изделия крепится эластичная мембрана, которая обозначена на схеме позицией 3. Внутрь эластичной камеры 3 вводится сварочная горелка, которая обозначена на схеме позицией 4. Эластичная камера является прозрачной и не затрудняет визуального наблюдения места сварки.

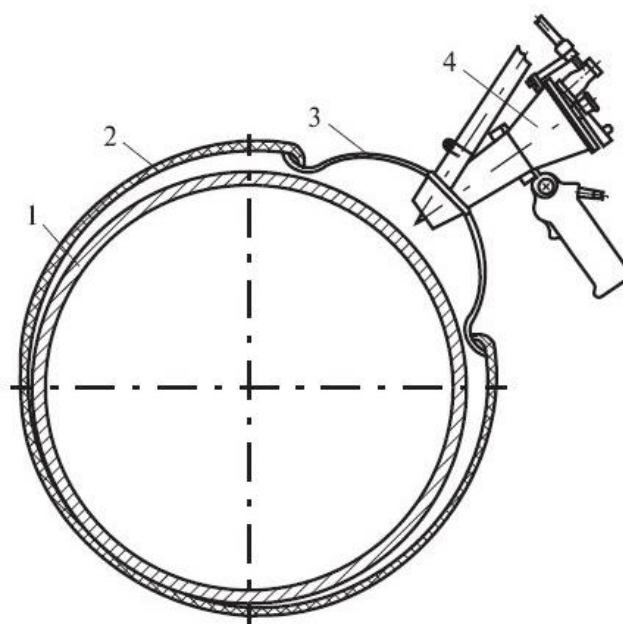


Рисунок 5 – Схема выполнения гипербарической подводной сварки

Вытеснение воды из образовавшейся камеры происходит при подаче в неё смеси защитных газов под давлением, превышающим давление столба воды. Прозрачные стенки эластичной мембраны позволяют сварщику наблюдать за формированием сварного соединения и управлять положением сварочной горелки. Размер мини-камеры должен соответствовать изделию и самой мини-камеру предварительно изготавливают для типовых конструкций.

Применяемый для гипербарической сварки полуавтомат не имеет отличий по сравнению с полуавтоматами для классической «мокрой» сварки [22], [33]. На рисунке 6 представлен состав полуавтомата для проведения подводной сварки. В состав комплекта входят источник сварочного тока ДС 400.33 М, блок управления, сварочная горелка для подводной сварки, комплект кабелей гибких шлангов, погружной блок с механизмом подачи сварочной проволоки и катушкой проволоки.

Применение в качестве источника сварочного тока выпрямителя ДС 400.33 М позволяет стабилизировать величину сварочного тока независимо от перепадов напряжения и длины сварочных кабелей.



Рисунок 6 – Комплектация полуавтомата для проведения подводной сварки

Пуск и остановка подачи сварочной проволоки, изменение скорости подачи проволоки, управление работой составляющих полуавтомата, контроль состояния полуавтомата и предварительный анализ возможных неисправностей, а также поддержание параметров режима сварки обеспечиваются микропроцессорным блоком управления. При сварке блок управления располагается над поверхностью воды. Источник сварочного тока также находится над поверхностью воды. Под воду погружается погружной блок, который выполнен в виде стального чехла, внутрь которого герметично вводятся цепи управления. Внутри погружного блока размещается механизм подачи сварочной проволоки и катушка со сварочной проволокой. Вытеснение воды из погружного блока происходит за счёт подаваемого в него избыточного давления газа, которое составляет приблизительно 150 % от давления воды на глубине, где проводятся сварочные работы.

На рисунке 7 представлена сварочная горелка, конструкция которой несколько сложнее, чем конструкция горелок для «сухой» сварки и для «мокрой» сварки. Сварочная горелка имеет форму пистолета, имеющего на конце ствола усеченную насадку и светофильтр. Горелка снабжена узлом фиксации на гибкой мембране, имеет вентили для регулирования подачи защитного газа, места для крепления подачи сварочной проволоки и сварочного тока. Также имеется лампа подсветки, кнопки управления током и подачей проволоки.



Рисунок 7 – Внешний вид сварочной горелки для проведения гипербарической сварки

Гибкий шланг сварочной горелки позволяет подавать сварочную проволоку на расстояние до 2 метров от погружного блока, с который кабель с проволокой входит посредством герметичного ввода. Подача сварочного тока и защитного газа происходит от газовой аппаратуры и источника тока, которые расположены над поверхностью воды.

В таблице представлена информация по аппарату для подводной сварки УПСС-1.

Таблица 1 – Характеристика полуавтомата для сварки под водой 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» [33]     | до 75                            |

На рисунке 8 представлен состав комплекса для подводной сварки с применением мини-кессонов. Над поверхностью воды располагается источник постоянного тока, который обеспечивает питание сварочной дуги (обозначен на схеме позицией 1). Задание и поддержание параметров режима сварки обеспечивается с применением контрольно-измерительной аппаратуры, которая также располагается над поверхностью воды и обозначена на схеме позицией 2. Блок управления подачей газа располагается над поверхностью воды и обозначен на схеме позицией 3. Подача газа обеспечивается от отдельных баллонов, в состав которых входят баллон для подачи газа на механизм подачи проволоки (обозначен на



схеме позицией 4'), баллон для подачи газа на сварочную проволоку (обозначен на схеме позицией 4'') и баллон для подачи газа в мини-кессон (обозначен на схеме позицией 4''').

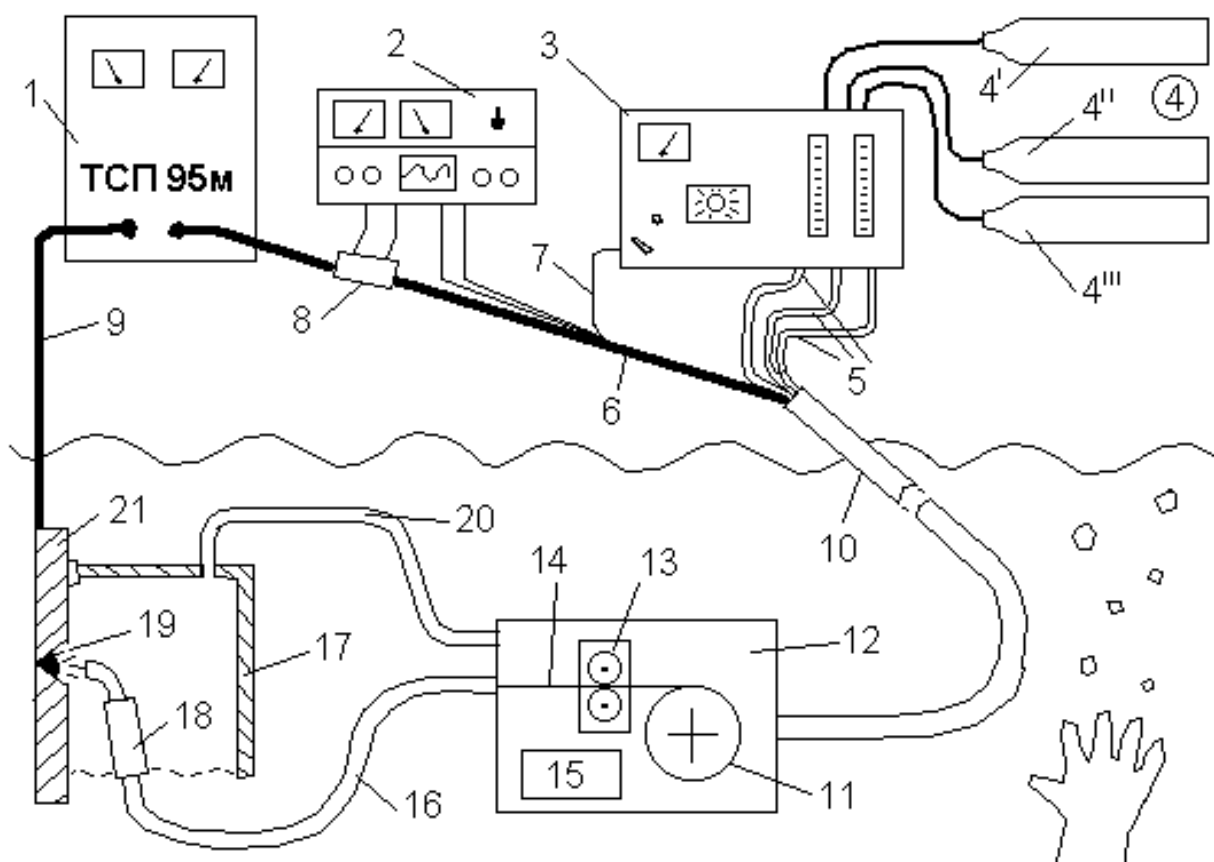


Рисунок 8 – Состав комплекса для проведения подводной сварки с применением мини-кессоснов

Через центральный кабель, который обозначен на схеме позицией 10, под поверхность воды подается защитный газ по шлангам (позиция 5), электрическая энергия по силовому кабелю (позиция 6) и сварочная проволока (позиция 14) по шлангу подачи проволоки (позиция 7). Для измерения силы сварочного тока служит шунт (позиция 8), который установлен в силовой цепи кабеля. Второй полюс источника питания через кабель (позиция 9) соединяется со свариваемым изделием, которое обозначено на схеме позицией 21. В погружной агрегат (позиция 12), который опускается вместе с водолазом-сварщиком под воду, помещают катушку сварочной проволоки (позиция 11), механизм подачи проволоки (позиция 13). Приводом механизма подачи проволоки служит мотор агрегата

подачи (позиция 15). Сварочная горелка (позиция 18) помещается в мини-кессон (позиция 17) и соединена с погружным агрегатом 12 герметичным шланг-кабелем (позиция 16), длина которого составляет 2 метра. Сварочная дуга (позиция 19) горит в газовой атмосфере мини-кессона, обеспечиваемой через шланг подачи газа в мини-кессон (позиция 20).

### **2.3 Технология подводной ремонтной сварки**

Для выполнения подводной «ремонтной сварки на трубопроводах с трубами класса прочности до К54 включительно применяется сварочная проволока Св-08Г2СО или сварочная проволока иностранного производства Super Arc L-56. Для сварки и ремонтной наплавки на трубопроводах с трубами классом прочности до К60 включительно применяются проволоки сплошного сечения ОК Autrod 12.66, Lincoln Supra Mig, Thyssen K-Nova (TS-6), K-600 (Union K Nova-Ni). В качестве защитного газа используется чистый углекислый газ» [16] высшего сорта или смесь защитных газов «аргон + углекислый газ» в отношении 80 % аргона и 20 % углекислого газа.

Перед проведение ремонтной наплавки на поверхности трубы следует провести выборку дефектного места. Выборку проводят механическим способом. Выполняют зачистку «до металлического блеска наружной поверхности и прилегающих кромок на ширину 10...15 мм. При выборке проводят полное удаление дефектного места, глубина выборки не должна более чем на 1 мм превышать глубину залегания дефекта. Выборку выполняют с применением фрез и шлифовальных машинок с гидравлическим приводом» [16].

На рисунке 9 представлена форма выборки дефектного места на трубопроводе при прямоугольной форме дефекта. На рисунке 10 представлена форма выборки при овальной форме дефекта.

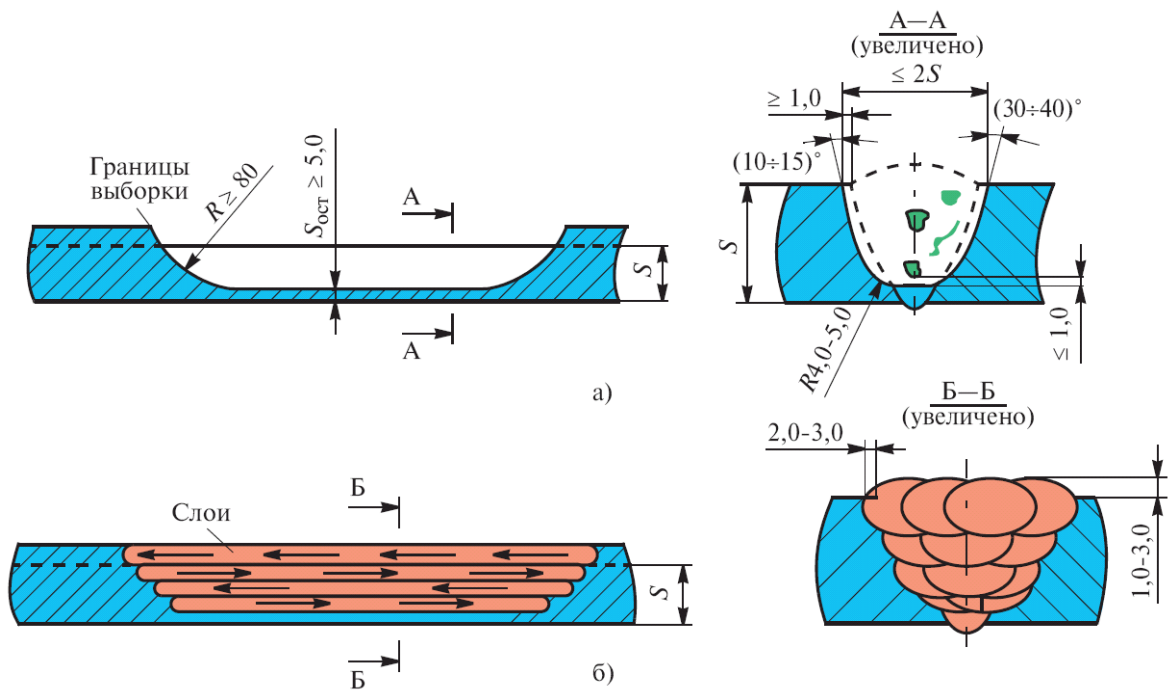


Рисунок 9 – Параметры выборки (а) и заполнения дефектного участка прямоугольной формы

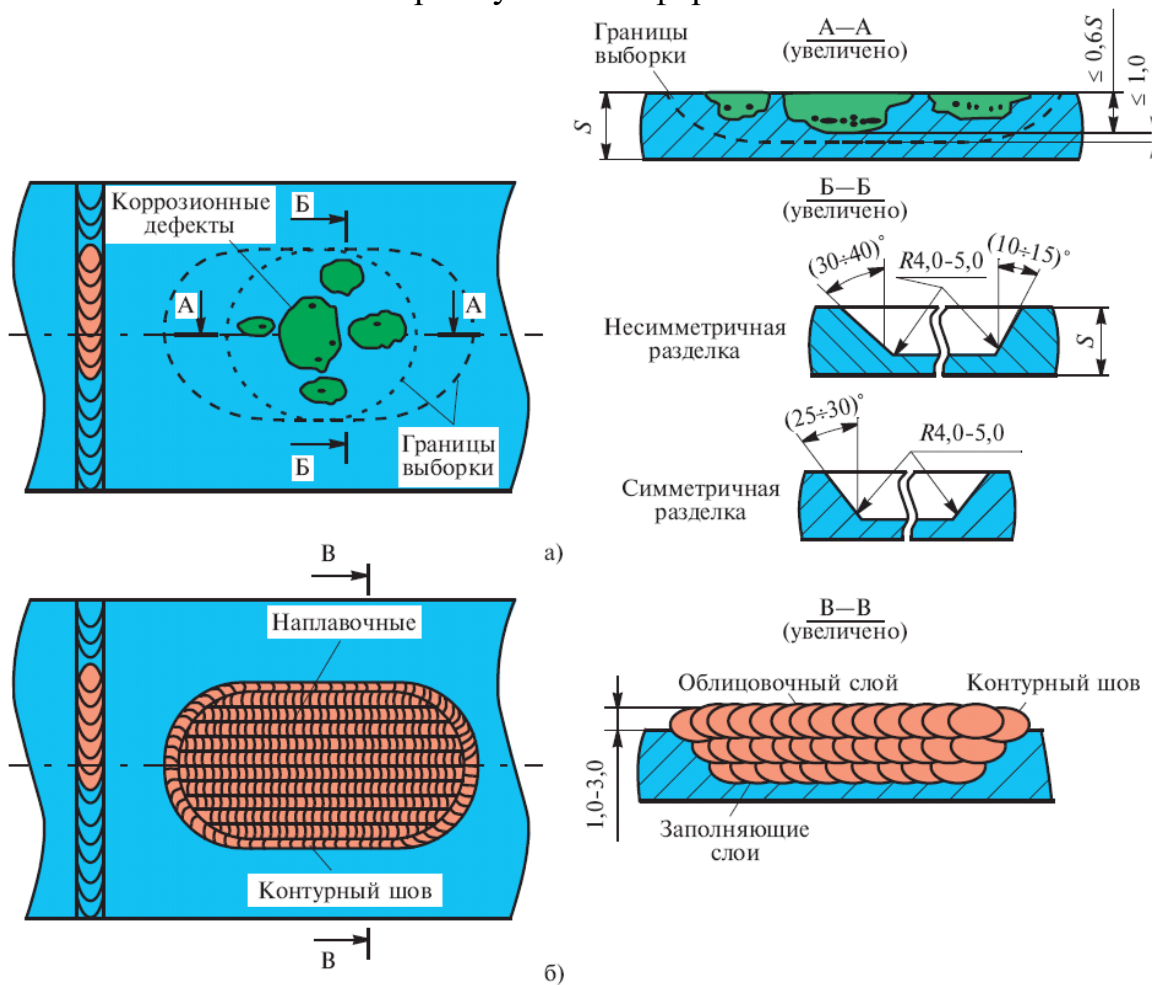


Рисунок 10 – Порядок выборки (а) и заполнения (б) дефектного участка круглой или овальной формы

Так как «при подводной сварке наблюдается усиленный отвод тепла из зоны сварки, сплавление по кромкам при проведении ремонтной сварки затруднено. Для того, чтобы гарантировать сплавление по кромкам» [13], следует сформировать U-образную форму выборки. При выполнении выборки превышение её границ размеров дефекта должно составлять не менее 30 мм со всех сторон от дефектного места. Величина угла выборки в поперечном сечении в зависимости от расположения на трубе варьируется. При положении дефектного места «в верхней или нижней части трубы применяется симметричная разделка со скосом 35...30 °. При расположении дефекта на боковой поверхности трубы применяется несимметричная разделка, в нижней части» [16] принимается угол скоса 10...15 °, а в верхней части разделки принимается угол скоса 30...40 °. Перед сваркой следует провести предварительный подогрев с применением электрического нагревательного элемента. Назначение температуры подогрева проводят в зависимости от класса прочности и толщины труб.

При сварке применяют «постоянный ток обратной полярности, сварку ведут узкими валиками, применяя встречно-симметричную схему раскладки» [16]. При наплавке следует накладывать валики каждого слоя параллельно валикам предыдущего слоя в противоположном направлении. Наплавку валиков следует вести с «перекрытием 2...3 мм. Ширина первых заполняющих слоёв составляет 4...6 мм, ширина последующих заполняющих слоёв составляет 8...10 мм. При выполнении облицовочного слоя перекрытие основного металла» [16] составляет 2...3 мм, а выпуклость наплавленного металла составляет 1...3 мм. Ширина контурного шва должна быть 8...12,6 мм при перекрытии основного металла 2...3 мм. В таблице 2 приведены параметры режима сварки при проведении работ на глубине 5 мм с использованием проволоки диаметром 0,8 мм. В таблице 3 приведены параметры режима сварки для случая использования проволоки диаметром 1 мм. При ремонтной подводной наплавке количество слоев зависит от глубины выборки и представлено в таблице 4.

Таблица 2 – Параметры режима сварки при проведении работ на глубине 5 мм и использовании проволоки диаметром 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 3 – Параметры режима сварки при проведении работ на глубине 5 мм и использовании проволоки диаметром 1 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»<br>[16]    |

Таблица 4 – Минимальное количество слоёв наплавки в зависимости от глубины выборки при подводной механизированной наплавке

| «Глубина выборки                    | Количество слоёв наплавки |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Менее 10 мм и 10 мм включительно    | не менее 3                |
| Более 10 мм и до 15 мм включительно | не менее 4                |
| Более 15 мм и до 20 мм включительно | не менее 5                |
| Более 20 мм и до 25 мм включительно | не менее 6» [16]          |

Для контроля качества после наплавки привлекается водолаз-дефектоскопист, который выполняет как визуально-измерительный контроль. Высокое качество сварных соединений обеспечивается при использовании для сварки установки УПСС-1, которая была аттестована ООО «Подводсервис». Полученные контрольные наплавленные валики представлены на рисунке 11. По результатам испытаний был разработан нормативный документ СТО Газпром 2-2.3-159-2007 «Инструкция по ремонту подводных газопроводов с использованием установки полуавтоматической сварки УПСС-1».

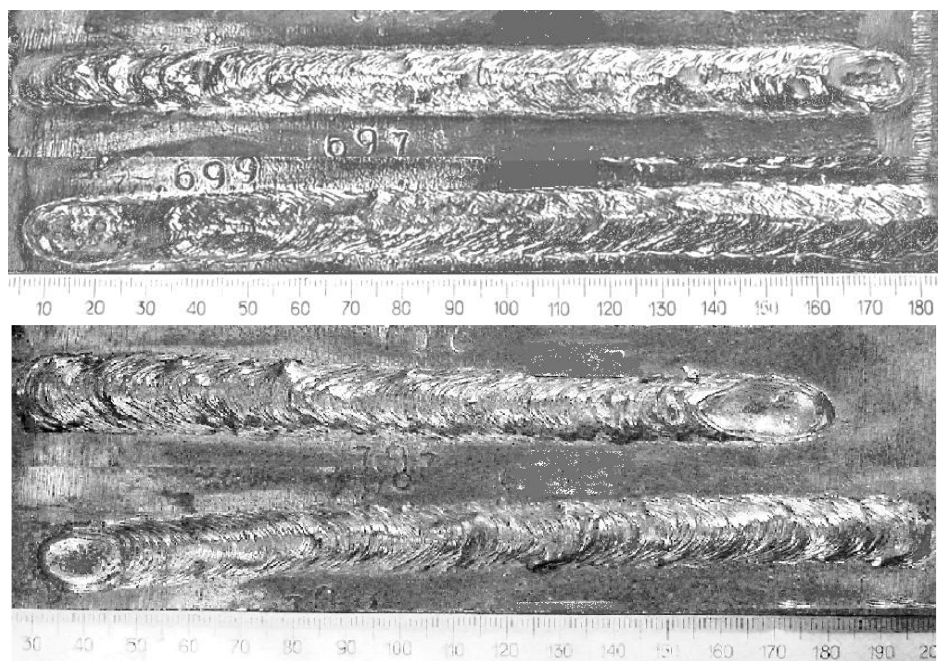


Рисунок 11 – Наплавленные валики при выполнении подводной сварки с использованием установки УПСС-1

Проведены работы по ремонту подводных переходов на газопроводах, в ходе которых заварены дефекты на трубах, располагающихся на глубине до 15 метров. «Работы проводились на реке Лена и показали перспективность применения предлагаемой технологии подводной ремонтной сварки. Высокое качество соединений получается при выполнении сварочных и наплавочных работ на глубине до 40 метров» [29].

Следует отметить, что реализация технологического процесса подводной сварки предполагает не только наличие необходимого сварочного и погружного глубоководного оборудования. Для проведения работ под водой требуется возможность доставить необходимое оборудование на место сварки, для чего необходима соответствующая инфраструктура. Кроме того, привлекать высококвалифицированный обслуживающий персонал, сопровождающий работу водолаза-сварщика. Также следует отметить, что дальнейшее совершенствование процесса подводной сварки следует направить в направлении повышения эффективности осушения места сварки в мини-кессоне и проведения предварительного и сопутствующего нагрева.

## 2.4 Контроль качества при подводной сварке

Выполнение сварочных работ под водой происходит в условиях действия значительного количества существенных дополнительных возмущений по сравнению со сваркой на открытом воздухе. Плохая видимость, высокое давление, усиленный отвод тепла и неблагоприятные факторы окружающей среды приводят к повышению вероятности возникновения дефектов в сварном соединении. Поэтому существенно возрастает роль контроля качества в обеспечении работоспособности и безопасности эксплуатации металлических конструкций, при строительстве и ремонте которых была использована сварка под водой.

В большинстве случаев выполнение контроля качества сварных швов предусматривает проведение наружного осмотра и испытание избыточным давлением. В условиях погружения под воду на значительную глубину эффективность применения аппаратов для неразрушающего контроля качества резко снижается по сравнению с условиями на поверхности. В настоящее время вопрос обеспечения качества сварки при выполнении работ на глубине остаётся актуальным [30]. Проведенные исследования [31] показали, что на долю внешних воздействий приходится всего лишь порядка 33 % аварий на подводной части трубопроводов, а на долю нарушений в эксплуатации – порядка 6 %. В тоже время на долю ошибок при проектировании приходится порядка 24 %, а на долю брака при производстве труб и строительстве – 17 %. Оставшиеся 20 % повреждений происходят по причине коррозии. Следовательно, обеспечение качества выполнения сварочных работ при подводной сварке позволит существенно повысить эксплуатационную безопасность ответственных конструкций.

В идеальном случае следует применить методики и аппаратные средства для контроля в реальном времени по параметрам обратной связи, в качестве которых могут выступать параметры процесса сварки. Это не требует погружения под воду контроллера и оборудования [35].

Использование электрических параметров, характеризующих поведение сварочной дуги, для диагностики и прогнозирования качества сварки требует использования минимальных аппаратных средств и позволяет не увеличивать массу и габариты сварочной установки. Применение сварочной дуги в качестве диагностируемого объекта имеет такое преимущество, как малая инерционность. Кроме того, все измерения и обработка результатов могут выполняться на обеспечивающем судне.

При оценке качества сварки по электрическим параметрам происходит сопоставление формы осциллограмм напряжения и тока с эталонными сигналами, полученными при выполнении качественных соединений в отсутствии возмущений.

Для проведения ультразвукового контроля предлагается применить подводный дефектоскоп Krautkramer Surs-2 или дефектоскоп Epoch-4, снабженные герметичными датчиками. Дефектоскопы применяются в подводном исполнении и имеют степень защиты IP68 по ГОСТ 14254. Также могут быть использованы дефектоскопы для надводного применения, которые для проведения контрольных работ под водой дополнительно снабжены выносными герметичными датчиками и комплектом герметичных высокочастотных кабелей.

Для контроля остаточной толщины трубопровода рекомендуется применить ультразвуковой толщиномер Cygnus-1, помещаемый в герметичный бокс.

Также предлагается предусмотреть применение пьезоэлектрических преобразователей с углами ввода  $0...70^\circ$ , имеющие защиту от проникновения воды и рассчитанные на длительную эксплуатацию под водой.

Для проверки параметров контроля и калибровки сигнала дефектоскопа следует предусмотреть наличие стандартных образцов, образцов с плоским дном, цилиндрическим отверстием и уголковым отражателем согласно ГОСТ 14782.



## Выводы по второму разделу

Второй раздел настоящей выпускной квалификационной работы посвящен решению поставленной в первом разделе задач. На основании разработок отечественных и зарубежных авторов предложена технология гипербарической сварки, позволяющей сочетать положительные особенности подводной «сухой» и подводной «мокрой» сварки. Для обеспечения защиты места сварки от воды предлагается использовать мини-кессоны, в которые подается защитный газ под давлением, превышающим давление воды на рабочей глубине на 50 %. Сварку предлагается вести проволокой сплошного сечения.

Составлена комплектация оборудования для проведения подводной ремонтной сварки, комплект включает в себя погружной мини-кессон, сварочную головку, комплект силовых кабелей и шлангов, погружной блок с механизмом подачи проволоки и кассетой сварочной проволоки, источник сварочного тока, устройства подготовки и подачи защитного газа, регулирующую аппаратуру.

Составлена технология исправления поверхностных дефектов стенки трубы на подводной части трубопроводов, сформулированы требования к выполнению выборки, сварке и контролю качества.

Предлагаемые мероприятия могут быть выполнены с применением отечественного фонда оборудования и позволяют повысить техническую независимость российской промышленной базы [17].

Дальнейшие работы должны быть направлены на идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые сопровождают выполнение операций проектного технологического процесса [1], [4].

Также предстоит провести экономическое обоснование предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений на основании вычисления и сравнения экономических показателей проектной и базовой технологий [18], [19].

### **3 Экологическое обоснование выпускной квалификационной работы**

#### **3.1 Описание рассматриваемого технического объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных работ при выполнении ремонтной подводной сварки. «Базовый технологический процесс предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами, так называемый «мокрая сварка». Выполнение проектной технологии предусматривает применение механизированной сварки в миникессоне, так называемая «гипербарическая сварка. Проектный технологический процесс может быть условно разделен на пять операций, особенности выполнения которых представлены в таблице 5. Такими операциями являются зачистка дефектного места, предварительный подогрев, заварка дефекта, механическая обработка и контроль качества» [13]. В ходе выполнения настоящего раздела предлагается провести идентификацию опасных и вредных производственных и экологических факторов, на основании которой предложить технические средства и организационные мероприятия, позволяющие устранить их или снизить до приемлемого уровня.

На основании исходных данных, представленных в таблице 5, может быть выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии ремонтной подводной сварки.

При экологическом обосновании проектной технологии следует принимать во внимание, что участок ремонтной сварки находится глубоко под водой, поэтому опасность возгорания при проведении сварочных работ будет минимальная.

Таблица 5 – Особенности выполнения операций проектного технологического процесса

| Операция                     | Работник          | Оборудование   | Материалы                                   |
|------------------------------|-------------------|--|---|
| «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 термопары, маты теплоизолирующие, сварочный трансформатор  | -   |
| 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» [16]      | Сварщик-подводник | Ультразвуковой подводный дефектоскоп СКАРУЧ-ПВ1, толщиномер УТ-83  | -   |

На основании представленных в таблице 5 особенностей выполнения операций технологического процесса следует провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, предложить средства защиты от них. При выборе средств и методик защиты от негативных производственных факторов следует учитывать возможность накопительного эффекта, который может привести к возникновению у работников профессиональных заболеваний. Дальнейшие работы следует направить в направлении поиска мероприятия по обеспечению экологической безопасности рассматриваемого технологического объекта – участок для проведения ремонтной подводной сварки.

### 3.2 Идентификация негативных производственных факторов

Сварочные процессы, а тем более, сварка на большой глубине, является процессом, при котором возникает значительное количество опасных и вредных производственных факторов, оказывающих отрицательное воздействие на работников. В таблице 6 представлены результаты идентификации негативных производственных факторов, сопровождающих предлагаемую в настоящей выпускной квалификационной работе технологию сварки при ремонтной подводной сварке.

Таблица 6 – Идентификация негативных производственных факторов

| Операция                     | Возникающий в ходе выполнения операции негативный фактор  | Источник возникновения 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 6

| 1                       | 2   | 3  |
|-------------------------|---|--|
| 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» [16] | <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                           |

Последующие работы предусматривают поиск технических средств и организационных мероприятий, направленных на снижение

производственных рисков, возникающих при проектной технологии. При выборе средства защиты от негативных производственных факторов следует отдавать предпочтение стандартным решениям, хорошо зарекомендовавшим себя при организации аналогичных работ на предприятиях отрасли. Предлагаемые средства и методы должны обеспечивать эффективную защиту сварщика-водолаза и учитывать особенности нахождения на значительной глубине.

### **3.3 Снижение профессиональных рисков**

При работе на глубине следует принимать внимание, что негативные производственные факторы могут проявляться как по-отдельности, так и совокупно, усиливая действие друг друга. Также следует принимать во внимание возможный кумулятивный эффект от действия вредных производственных факторов, который проявляется в получении работником профессиональных заболеваний. В ходе оценки выделено восемь негативных производственных факторов: острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; резкое изменение (повышение или понижение) барометрического давления воздуха; отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения; физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса; нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса; повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений. Таблица 7 позволяет предложить стандартные технические решения и организационные мероприятия, позволяющие эффективно снижать риск от негативных производственных факторов, сопровождающих проектную технологию.

Таблица 7 – Средства и методики снижения профессиональных рисков

| «Негативный производственный фактор   | Оборудование и мероприятия   | Средства индивидуальной защиты              |
|---|--|---|
| 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» [4]                                   | Экранировании места сварки миникессоном  | Погружное снаряжение                        |

Предлагаемые средства и методики не требуют проведения специальных изыскательных и проектировочных работ. Дальнейшие работы следует направить в направлении обеспечения пожарной и экологической безопасности рассматриваемого технологического объекта – участка для сварки при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики.

### 3.4 Вопросы обеспечения экологической безопасности

Выполнение технологии сварки на современном предприятии должно не только отвечать требованиям производственной безопасности, но и обеспечивать минимальное антропогенное воздействие на окружающую среду. Особенности отрицательного влияния проектной технологии на атмосферу, гидросферу и литосферу представлены в таблице 8. Для нейтрализации отрицательного антропогенного воздействия на окружающую среду применяются технические средства и методики, представленные в таблице 9.

Таблица 8 – Негативные антропогенные факторы на окружающую среду при реализации проектной технологии сварки паропровода

|  |   |
|--|---|
| Наименование анализируемого технологического процесса  | Подводная ремонтная сварка  |
| Наименование операций технологического процесса, в ходе которых возникает негативное антропогенное воздействие | Подготовка дефектного места, сварка, контроль качества  |
| Факторы негативного воздействия на атмосферу   | отсутствуют   |
| Факторы негативного воздействия на гидросферу  | Пролитое машинное масло, выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы |
| Факторы негативного воздействия на литосферу   | Пролитое на землю машинное масло, загрязнение площадей упаковочным материалом, бытовым и производственным мусором   |

Таблица 9 – Организационные мероприятия и технические средства для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду

|  |  |
|--|--|
| «Наименование технического объекта   | Проведение сварочных работ при строительстве и ремонте паропроводов на объектах атомной энергетики   |
| Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.                  | Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение, применение режимов сварки с пониженным выделением аэрозолей  |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу» [4] | «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» [4] |



Особо следует отметить комплекс мероприятий, направленных на селективный сбор отходов и промышленного мусора. Проведение таких мероприятий позволяет не только проявить ответственное отношение к окружающей среде, но и получить существенную экономию за счёт эффективного рециклинга.

#### Выводы по экологическому разделу

При выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы проведён анализ проектной технологии на предмет возникновения опасных и вредных производственных факторов. На основании идентификации этих факторов выполнен поиск технических решений и организационных мероприятий по их нейтрализации.

Поскольку ремонтная сварка проходит на значительной глубине, проблема обеспечения пожарной безопасности признана неактуальной, поэтому этот вопрос в настоящей выпускной квалификационной работе не рассматривался.

На основании представленных в настоящем разделе материалов следует сделать вывод о возможности эффективного снижения действия негативных производственных и экологических факторов, сопровождающих внедрение проектной технологии. Исходя из этого, решения могут быть рекомендованы для внедрения в реальное производство.

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых решений**

### **4.1 Исходная информация для выполнения экономического обоснования**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности ремонтных работ при выполнении сварки под водой. Применение традиционной «мокрой» сварки штучными электродами имеет ряд существенных недостатков, которые заставляют проводить работы по усовершенствованию технологического процесса подводной сварки и поиска альтернативных решений.

В работе предложена комплектация оборудования для проведения подводной ремонтной сварки, комплект включает в себя погружной мини-кессон, сварочную головку, комплект силовых кабелей и шлангов, погружной блок с механизмом подачи проволоки и кассетой сварочной проволоки, источник сварочного тока, устройства подготовки и подачи защитного газа, регулирующую аппаратуру. Составлена технология исправления поверхностных дефектов стенки трубы на подводной части трубопроводов, сформулированы требования к выполнению выборки, сварке и контролю качества.

По сравнению с базовым вариантом технологии выполнены изменения, которые должны повысить экономическую эффективность предприятия, которая должна быть доказана в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Исходные данные по вариантам приведены в таблице 10. Эти данные получены по результатам работы над аналитическим и исполнительским разделами настоящей выпускной квалификационной работы и учитывают особенности базовой технологии с применением «мокрой» сварки и проектной технологии с применением гипербарической сварки.

Таблица 10 – Исходные данные для экономического обоснования

| «Экономический показатель                            | Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя | Единица измерения экономического показателя | Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям |                      |
|--|---|---|--|----------------------|
|  |   |   | Базовая технология   | Проектная технология |
| Число рабочих смен в сутках                          | $K_{см}$  | -   | 1  | 1                    |
| Разряд работников                                    | $P_p$   | -   | V  | V                    |
| Часовая тарифная ставка                              | $C_ч$   | Р/час                                       | 400  | 400                  |
| 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                         | $K_{вн}$  | -   | 1,03   | 1,03                 |
| Стоимость оборудования                               | $C_{об}$  | руб.  | 400 тыс.   | 700 тыс.             |
| Норма амортизации оборудования                       | $K_a$   | %   | 21,5   | 21,5                 |
| Мощность оборудования                                | $M_{уст}$   | кВт   | 14   | 27                   |
| Коэффициент транспортно-заготовительных расходов     | $K_{т-з}$   | %   | 5  | 5                    |
| Стоимость электрической энергии                      | $C_{э-э}$   | Р/ кВт                                      | 3,4  | 3,4                  |
| Коэффициент полезного действия                       | $K_{пд}$  | -   | 0,7  | 0,7                  |
| Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования | $K_{мон}$<br>$K_{дем}$  | %   | 3  | 5                    |
| Площадь под оборудование                             | $S$   | $m^2$                                       | 50   | 50                   |
| Стоимость эксплуатации площадей                      | $C_{эсп}$   | (Р/ $m^2$ )/год                             | 2000   | 2000                 |
| Цена производственных площадей                       | $C_{пл}$  | Р/ $m^2$                                    | 30000  | 30000                |
| Норма амортизации площади                            | $На.пл.$  | %   | 5  | 5                    |
| Коэффициент дополнительной производственной площади  | $K_{пл}$  | -   | 3  | 3                    |
| Коэффициент эффективности капитальных вложений       | $E_n$   | -   | 0,33   | 0,33                 |
| Коэффициент цеховых расходов                         | $K_{цех}$   | -   | 1,5  | 1,5                  |
| Коэффициент заводских расходов» [19]                 | $K_{зав}$   | -   | 1,15   | 1,15                 |

Экономическое обоснование предлагаемых решений предусматривает выполнение расчётов основных экономических показателей проектной и базовой технологий с учётом технологической, цеховой и заводской себестоимости.

## 4.2 Расчёт фонда времени

Выполнение операций технологического процесса, как в проектном, так и в базовом варианте, предусматривает работу оборудования, которая происходит в течение заданного промежутка времени. Дальнейшие экономические расчёты по определению себестоимости производства и других экономических показателей предприятия основаны на величине годовой программы и количества единиц оборудования, которые, в свою очередь, вычисляются в зависимости от общего фонда времени работы оборудования. Объём общего фонда времени работы оборудования зависит от количества рабочих дней в календарном году, которое принимается  $D_p=277$ . Еще одной компонентой для расчётов является продолжительность рабочей смены, которая принимается  $T_{см}=8$  часов. Количество рабочих смен на предприятии принимается равным  $K_{см}=1$ . В предпраздничные дни происходит уменьшение продолжительности рабочей смены на величину  $T_p=1$  час. Количество предпраздничных дней принимается равным  $D_p=7$  дней. С использованием исходных параметров производит расчёт годового фонда времени работу оборудования по формуле:

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

После подстановки в формулу (1) исходных значений годовой фонд времени работы оборудования будет равен:  $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$  часов. Для определения эффективного фонда времени работы оборудования следует необходимо учесть возможные потери в размере  $B=7\%$  по формуле:

$$F_э = F_H(1-B/100). \quad (2)$$

После подстановки в формулу (2) исходных значений эффективный фонд времени работы оборудования составляет :  $F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$  часов. Эта величина будет в дальнейшем использована для проведения дальнейших экономических расчётов.

### 4.3 Штучное время по базовому и проектному вариантам технологии

Расчёт годовой программы и себестоимости производства требует определения штучного времени, которое требуется на выполнение технологических операций согласно базового и проектного вариантов технологии. «В состав штучного времени  $t_{шт}$  входят пять слагаемых. Первым слагаемым является машинное время  $t_{маш}$ , которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Вторым слагаемым является вспомогательное время  $t_{всп}$ , которое затрачивается на выполнение вспомогательных и подготовительных операций» [19]. Третьим слагаемым является время отдыха  $t_{отд}$ . Четвертым слагаемым является подготовительно-заключительное время  $t_{п-з}$ . Пятым слагаемым является время обслуживания  $t_{обсл}$ , которое расходуется на «проведение мелкого ремонта и обслуживание технологического оборудования. Таким образом, штучное время вычисляется как» [19]:

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

После подстановки в формулу (3) исходных значений по базовому и проектному вариантам технологии, взятых и аналитического и исполнительского разделов выпускной работы, получены следующие значения штучного времени:  $t_{шт.баз} = 4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4,84$  часа и  $t_{шт.проектн.} = 1,7 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 2,06$  час. Объём годовой программы  $\Pi_r$  зависит от объёма эффективного годового фонда времени работы оборудования  $F_3$  и штучного времени  $t_{шт}$  по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Pi_r = F_3 / t_{шт} . \quad (4)$$

После подстановки в (4) исходных значений для рассматриваемых вариантов  $\Pi_{r.баз.} = 2054/4,84 = 424$  и  $\Pi_{r.пр.} = 2054/2,06 = 997$ . С учётом потребности отрасли принимаем  $\Pi_r=200$  для обоих вариантов технологии.

Расчёт количества технологического оборудования, применяемого для выполнения операций проектного и базового вариантов технологии, выполняется с учётом годовой программы, штучного времени  $t_{шт}$ , эффективного фонда времени  $F_э$  и коэффициента выполнения нормы, значение которого принимается равным  $K_{вн} = 1,03$ :

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot \Pi_{Г} / (F_э \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

После подстановки в формулу (5) исходных значений, получаем для базового и проектного вариантов технологии соответственно количество оборудования  $n_{расч} = 4,84 \cdot 200 / (2054 \cdot 1,03) = 0,46$  и  $n_{расч} = 2,06 \cdot 200 / (2054 \cdot 1,03) = 0,20$ .

При выполнении операций технологического процесса для дальнейших расчётов примем ближайшее большее целое значение  $n=1$  для базового варианта технологии и  $n=1$  для проектного варианта технологии.

Далее проведем расчёт коэффициента загрузки технологического оборудования  $K_з$  для обоих вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При подстановке в формулу (6) исходных значений для базового варианта технологии получено  $K_з = 0,46/1 = 0,46$ ; для проектного варианта технологии получено  $K_з = 0,20/1 = 0,20$ .

Таким образом, для последующего экономического расчёта по обоснованию предлагаемых технических и организационных решений получены исходные значения эффективного годового фонда времени работы оборудования, штучного времени, количества оборудования, годовой программы и коэффициента загрузки оборудования.

Расчёт изменяющихся экономических показателей выполним по технологической, цеховой и заводской себестоимости проведения работ с учётом капитальных затрат на проведение технологического процесса по базовому варианту и проектному варианту.

#### 4.4 Технологическая, цеховая и заводская себестоимости по вариантам технологии

При выполнении операций технологического процесса по проектному варианту и по базовому варианту происходит расходование материалов. При выполнении технологического процесса по базовому варианту в качестве расходуемых материалов выступают штучные электроды. При выполнении технологического процесса по проектному варианту в качестве расходуемых материалов выступает защитный газ и сварочная проволока. «Расчёт затрат на материалы  $M$  выполняется по рыночной цене материалов  $C_M$ , с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}$  и нормы расходов материалов  $H_p$ » [19]:

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

На основании данных аналитического и исполнительского разделов настоящей выпускной квалификационной работы с использованием формулы (7) получены значения расхода на материалы по базовому варианту технологии  $M=670 \cdot 1,7 \cdot 1,05 = 1195,95$  рублей; расход на материалы по проектному варианту технологии  $M=(230 \cdot 1,4 + 90 \cdot 12) \cdot 1,05 = 1472,10$  рублей.

Для вычисления объема фонда заработной платы потребуется величина штучного времени  $t_{шт}$ , коэффициента доплат  $K_d$  и часовой тарифной ставки  $C_ч$ . Для рассматриваемого варианта технологического процесса величина коэффициента доплат принимается равной  $K_d = 1,88$ . Для расчёта основной заработной платы применим формулу:

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

После подстановки в (8) исходных значений расчётная величина фонда основной заработной платы составляет для базового варианта технологического процесса  $Z_{осн} = 4,84 \cdot 400 \cdot 1,88 = 3484,80$  рублей и для

проектного варианта технологического процесса  $Z_{\text{осн}} = 2,06 \cdot 400 \cdot 1,88 = 1549,12$  рублей.

«Объем фонда дополнительной заработной платы определяется исходя из объемов основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента доплат» [19], величин которого принимается равной  $K_{\text{доп}} = 12\%$ . Таким образом, расчёт дополнительной заработной платы проводится по формуле:

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

«При подстановке данных в формулу (9) дополнительная заработная плата по базовому варианту составляет  $Z_{\text{доп}} = 3484,80 \cdot 12 / 100 = 418,18$  рублей и по проектному варианту технологии  $Z_{\text{доп}} = 1549,12 \cdot 12 / 100 = 185,89$  рублей.

Фонд заработной платы ФЗП представляет сумму дополнительной  $Z_{\text{доп}}$  и основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ . Для базового варианта технологии фонд заработной платы рассчитывается как  $\text{ФЗП} = 3484,80 + 418,18 = 3902,98$  рублей. Для проектного варианта технологии фонд заработной платы рассчитывается как  $\text{ФЗП} = 1549,12 + 185,89 = 1735,01$  рублей.

Далее необходимо провести расчёт отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$ , задавшись значением коэффициента отчислений  $K_{\text{сн}} = 34\%$ . Величина отчислений на социальные составляет по формуле» [19]:

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

После подстановки данных в (10) для базового варианта технологического процесса отчисления на социальные нужды составили значение  $O_{\text{сн}} = 3902,98 \cdot 30 / 100 = 1170,89$  рублей. Отчисления на социальные нужды для проектного варианта составили  $O_{\text{сн}} = 1735,01 \cdot 30 / 100 = 520,50$  рублей.

Затраты на оборудование  $Z_{\text{об}}$  по базовому и проектному вариантам технологического процесса определяются как сумма амортизационных отчислений  $A_{\text{об}}$  и затрат на электрическую энергию  $P_{\text{э}}$  по формуле:



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

«Расчёт величины амортизационных отчислений  $A_{об}$  выполняется с учётом цены оборудования  $C_{об}$ , нормы амортизации  $H_a$ , значение которой принимается  $H_a = 21,5 \%$ , машинного времени  $t_{маш}$ , эффективного фонда времени  $F_э$ » [19]:

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

После подстановки в формулу (12) исходных значений по базовому и проектному вариантам технологии расчётная величина  $A_{об}$  составила для базовой технологии  $A_{об.} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 4 / 2054 / 100 = 167,48$  рубля и для проектной технологии  $A_{об.} = 700000 \cdot 21,5 \cdot 1,7 / 2054 / 100 = 124,56$  рубля.

«Затраты на электрическую энергию, расходуемую на выполнение операций проектного и базового технологического процесса, определяются исходя из машинного времени  $t_{маш}$ , мощности оборудования  $M_{уст}$ , стоимости электрической энергии  $C_{ээ}$  и коэффициента полезного действия КПД» [19]:

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

После подстановки значений в формулу (13) расходы на электрическую энергию по базовому варианту составляют  $P_{ээ} = 14 \cdot 4 \cdot 3,4 / 0,7 = 249,6$  рублей. Расходы на электрическую энергию по проектному варианту составляют  $P_{ээ} = 27 \cdot 1,7 \cdot 3,4 / 0,85 = 163,08$  рублей.

После подстановки значений в формулу (11) величина затрат на оборудование по базовому варианту составила  $Z_{об} = 167,48 + 249,60 = 417,08$  рублей. Затраты на оборудование по проектному варианту технологического процесса  $Z_{об} = 124,56 + 163,08 = 287,64$  рублей.

«Технологическая себестоимость  $C_{тех}$  рассчитывается по величине затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$  и затрат на оборудование  $Z_{об}$ . Величина  $C_{тех}$  определяется по формуле» [19]:

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

При подстановке в формулу (14) значений размер технологической себестоимости для базового варианта составил  $C_{\text{тех}} = 1195,95 + 3902,98 + 1170,89 + 417,08 = 6686,90$  рублей, для проектного варианта  $C_{\text{тех}} = 1472,10 + 1735,01 + 520,50 + 287,64 = 4015,25$  рублей.

«Для вычисления значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  необходимо значение технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ . Расчёт ведётся по формуле» [19]:

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

При подстановке значений в формулу (15) для базового варианта технологии размер цеховой себестоимости с учётом ранее определённых значений составляет  $C_{\text{цех}} = 6686,90 + 1,5 \cdot 3484,80 = 6686,90 + 5227,20 = 11914,10$  рублей. Для проектного варианта технологии  $C_{\text{цех}} = 4015,25 + 1,5 \cdot 1549,12 = 4015,25 + 2323,68 = 6338,93$  рублей.

«Для вычисления заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  необходимо значение цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{\text{зав}}$ . Расчёт ведётся по формуле» [19]:

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

При подстановке значений в формулу (16) для базового варианта технологии размер цеховой себестоимости с учётом ранее определённых значений составляет  $C_{\text{зав}} = 11914,10 + 1,15 \cdot 3484,80 = 11914,10 + 4007,52 = 15921,62$  рублей. Для проектного варианта технологии  $C_{\text{цех}} = 6338,93 + 1,15 \cdot 1549,12 = 6338,93 + 1781,49 = 8120,4$  рублей.

В ходе проведённых экономических расчётов установлено, что величина заводской себестоимости при выполнении работ по проектной технологии с применением предлагаемых технических решений, значительно меньше заводской себестоимости при проведении работ по базовой технологии. Снижение заводской себестоимости происходит по причине повышения производительности труда и повышения эффективности

расходования материалов и энергии. Это позволяет предположить наличие положительного экономического эффекта, для определения которого необходимо выполнить расчёт капитальных затрат по проектному и базовому вариантам технологии.

#### **4.5 Расчёт капитальных затрат по проектной и базовой технологии**

Первоначально проведем «расчёт капитальных затрат по базовому варианту технологического процесса. Остаточная стоимость оборудования  $C_{об.б.}$  может быть рассчитана по рыночной стоимости нового оборудования  $C_{перв.}$ , нормы амортизационных отчислений  $N_a$  и срока эксплуатации оборудования  $T_{сл}$  по формуле» [19]:

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

После подстановки в формулу (17) известных значений может быть рассчитана остаточной стоимости оборудования, которое было задействовано для реализации операций базового технологического процесса  $C_{об.б.} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 142000$  рублей.

Размер «капитальных затрат по базовому варианту технологии рассчитывается с учётом остаточной стоимости оборудования  $C_{об.б.}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_3$  по базовому варианту технологии» [19]:

$$K_{общ. б.} = C_{об.б.} \cdot K_{з.б.} \quad (18)$$

После подстановки в формулу (18) известных значений величина капитальных затрат по базовому варианту  $K_{общ. б.} = 1 \cdot 142000 \cdot 0,46 = 65320$  рублей.

Для расчёта капитальных затрат по проектному варианту технологии  $K_{общ.пр}$  необходимо задаться капитальными затратами на оборудование  $K_{об.пр}$ ,

капитальными затратами на площади  $K_{пл.пр.}$  и сопутствующими расходами  $P_{соп.}$ . Таким образом, расчёт капитальных затрат происходит по формуле:

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

Капитальные затраты на оборудование будут рассчитаны с учётом цены оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса  $\Pi_{об. пр.}$ , коэффициента загрузки оборудования  $K_з$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{ТЗ}=1,05$ :

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

После подстановки в формулу (20) значений расчётная величина капитальных затрат на оборудование по проектному варианту составила  $K_{об. пр.} = 700000 \cdot 1,05 \cdot 0,20 = 147000$  рублей.

Сопутствующие затраты  $K_{соп}$  при внедрении проектной технологии в производство определяются как сумма затрат на демонтаж старого оборудования  $P_{дем}$  и затрат на монтаж нового оборудования  $P_{монт}$ . Затраты на демонтаж старого оборудования определяются по его остаточной стоимости  $\Pi_{об. б.}$  через коэффициент расходов на демонтаж  $K_{дем} = 0,05$ :

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

После подстановки в формулу (21) значений величина расходов на демонтаж составила  $P_{дем} = 1 \cdot 400000 \cdot 0,05 = 20000$  рублей.

Величина расходов на монтаж нового оборудования определяется по его рыночной стоимости  $\Pi_{об. пр.}$  и коэффициента расходов на монтаж  $K_{монт} = 0,05$ :

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

После подстановки в формулу (22) значений величина расходов на монтаж составила  $P_{монт} = 700000 \cdot 0,05 = 35000$  рублей.

Размер сопутствующих расходов определяется как сумма расходов на демонтаж  $P_{\text{дем}}$  и расходов на монтаж  $P_{\text{монт}}$  по формуле:

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

После подстановки значений в формулу (23) размер сопутствующих расходов составил  $P_{\text{соп}} = 20000 + 35000 = 55000$  рублей. Общие капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}}$ , рассчитываемые по формуле (19), составили  $K_{\text{общ. пр.}} = 147000 + 55000 = 202000$  рублей. Расчёт дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  выполняется как разность капитальных затрат по проектному  $K_{\text{общ.пр}}$  и базовому  $K_{\text{общ.б}}$  вариантам технологии:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}}. \quad (24)$$

При подстановке в формулу (24) известных значений дополнительные капитальные вложения составили  $K_{\text{доп}} = 202000 - 65320 = 136680$  рублей.

Удельные капитальные вложения вычисляем с учётом годовой программы  $\Pi_{\text{г}}$  по формуле:

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

При подстановке в формулу (25) известных значений размер удельных капитальных вложений при построении технологического процесса по базовому варианту составил  $K_{\text{уд}} = 65320/200 = 326,60$  рублей. Размер удельных капитальных вложений при построении технологического процесса по проектному варианту составил  $K_{\text{уд}} = 202000 / 200 = 1010$  рублей.

Таким образом, были рассчитаны все необходимые исходные данные для определения основных показателей эффективности проектной технологии.

#### **4.6 Показатели эффективности предлагаемых решений**

Основными показателями, определяющими эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решения,

являются «снижение трудоемкости  $\Delta t_{шт}$ , повышение производительности труда  $\Pi_T$ , снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , условная годовая экономия  $\mathcal{E}_{уг}$ , срок окупаемости капитальных вложений  $T_{ок}$  и годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_T$ » [19].

Величину снижения трудоемкости  $\Delta t_{шт}$  определим по штучному времени проектной  $t_{шт пр}$  и базовой  $t_{шт.б}$  технологии по формуле:

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

При подстановке значений в формулу (26) рассчитываем величину снижения трудоемкости  $\Delta t_{шт} = (4,84 - 2,06) \cdot 100 \% / 4,84 = 57 \%$ .

Повышение производительности труда  $\Pi_T$  рассчитывается исходя из ранее определённого значения снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  по формуле:

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

«При подстановке значений в формулу (27) рассчитываемая величина повышения производительности труда составляет  $\Pi_T = 100 \cdot 57 / (100 - 57) = 133 \%$ .

Размер снижения технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$  рассчитывается по ранее определённым значениям технологической себестоимости в проектном  $C_{тех.пр}$  и базовом  $C_{тех.б}$  вариантах технологии по формуле» [19]:

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

При подстановке значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости составляет  $\Delta C_{тех} = (6686,9 - 4015,25) \cdot 100\% / 6686,9 = 40 \%$ .

Величина условно-годовой экономии рассчитывается исходя из заводской себестоимости по проектному  $C_{зав.пр}$  и базовому  $C_{зав.б}$  вариантам технологии по формуле:

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

При подстановке в формулу (29) ранее определённых значений величина условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = (15921,62 - 8120,42) \cdot 200 = 1560240$  рублей.

Расчёт срока окупаемости предлагаемый в настоящей выпускной квалификационной работе решений выполняется по формуле:

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

При подстановке в формулу (30) значений расчётная величина срока окупаемости составляет  $T_{\text{ок}} = 136680 / 1560240 = 0,1$  года.

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_{\text{г}}$  рассчитывается с учётом условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ , дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$  и коэффициента окупаемости  $E_{\text{н}}$  по формуле:

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

При подстановке в формулу (31) известных значений величина годового экономического эффекта  $\mathcal{E}_{\text{г}} = 1560240 - 0,33 \cdot 136680 = 1515135$  рублей.

#### Выводы по экономическому разделу

Установлено, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет снизить трудоемкость на величину  $\Delta t_{\text{шт}} = 57\%$  и повысить производительность труда на  $P_{\text{т}} = 133\%$ . Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на величину  $\Delta C_{\text{тех}} = 40\%$ . При этом условно-годовая экономия составляет  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 1,56$  млн. рублей. С учётом капитальных вложений окупаемость предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений составляет  $T_{\text{ок}} = 0,1$  года. Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет  $\mathcal{E}_{\text{г}} = 1,52$  млн. рублей.

На основании проведенных экономических расчётов следует сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемых решений.

## Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса расширения технологических возможностей сварки при проведении ремонтных работ под водой.

При анализе базовой технологии, применяемой при ремонте с проведением «мокрой сварки» штучными электродами сформулированы недостатки. Первым недостатком является малая производительность процесса сварки. Вторым недостатком является снижение видимости зоны сварки из-за значительного количества образующейся мути. Третьим недостатком является существенная зависимость качества сварки от квалификации сварщика, его кондиций и условий проведения сварки. Четвертым недостатком является необходимость периодической остановки процесса сварки для замены электрода, что комплексно снижает как производительность процесса, так и качество сварного соединения.

На основании разработок отечественных и зарубежных авторов предложена технология гипербарической сварки, позволяющей сочетать положительные особенности подводной «сухой» и подводной «мокрой» сварки. Для обеспечения защиты места сварки от воды предлагается использовать мини-кессоны, в которые подается защитный газ под давлением, превышающим давление воды на рабочей глубине на 50 %. Сварку предлагается вести проволокой сплошного сечения.

Составлена комплектация оборудования для проведения подводной ремонтной сварки, комплект включает в себя погружной мини-кессон, сварочную головку, комплект силовых кабелей и шлангов, погружной блок с механизмом подачи проволоки и кассетой сварочной проволоки, источник сварочного тока, устройства подготовки и подачи защитного газа, регулирующую аппаратуру.



Составлена технология исправления поверхностных дефектов стенки трубы на подводной части трубопроводов, сформулированы требования к выполнению выборки, сварке и контролю качества.

При выполнении оценочного раздела выпускной квалификационной работы проведён анализ проектной технологии на предмет возникновения опасных и вредных производственных факторов. На основании идентификации этих факторов выполнен поиск технических решений и организационных мероприятий по их нейтрализации.

Проведена оценка предлагаемых технических решений на предмет обеспечения экологической безопасности. Предложены организационные мероприятия по защите окружающей среды от возникающих при реализации проектной технологии негативных антропогенных факторов.

Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на 40 %. Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 1,52 млн. рублей.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы предлагаются к внедрению на предприятиях, выполняющих подводную сварку при ремонте и строительстве ответственных конструкций гражданского и военного назначения.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
2. Вышемирский Е. М. Организация разработки нормативных документов по сварке и контролю качества сварных соединений газопроводов ОАО «Газпром» // Территория Нефтегаз. 2011. № 5. С. 54–61.
3. Глушко Е. Ю., Деменко А. О. Электронный макет автоматизированного ремонтного комплекса для подводных переходов магистральных трубопроводов и визуализация его эксплуатационного применения // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. 2017. № 1. С. 10–19.
4. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
5. Грецкий, Ю.Я. Влияние компонентов электродного покрытия на формирование металла шва при ручной сварке под водой / Ю.Я. Грецкий, С.Ю. Максимов // Автоматическая сварка. – 1994. – № 7/8. – С. 15–17.
6. Грецкий Ю. Я., Максимов С. Ю., Кравченко Н. В. Влияние флюорита в рутиловом покрытии на содержание водорода в металле шва при подводной сварке // Автоматическая сварка. 1993. № 8. С. 53–55.
7. Грецкий Ю. Я. Максимов С. Ю. Структура и свойства соединений низколегированных сталей при подводной мокрой сварке покрытыми электродами // Автоматическая сварка. 1995. № 5. С. 7–11.
8. 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.
9. Каховский Н. Ю., Максимов С. Ю. Влияние состава шихты порошковой проволоки на стабильность процесса горения дуги при мокрой подводной сварке // Сборник научных трудов НУК. 2014. № 6. С. 29–33.

10. Каховский Н. Ю., Максимов С. Ю., Фадеева Г. В. Исследование влияния фторидов на стабильность горения дуги при сварке высоколегированных коррозионностойких сталей типа 18-10 // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. 2014. № 2. С. 18–22.
11. Кононенко В. Я., Грицай П. М. Мокрая механизированная сварка при ремонте корпусов судов // Морской флот. – 1994. – № 11–12. – С. 21–22.
12. Кононенко В.Я. Подводная сварка и резка. К. : Університет «Україна». 2011. 264 с.
13. Кононенко В.Я. Подводная сварка и резка в странах СНГ // Автоматическая сварка. 2014. № 6/7. С. 43–48.
14. 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.
15. Кононенко В. Я. Современное состояние подводной сварки и резки в Украине // Автоматическая сварка. 2003. № 2. С. 44–48.
16. Кононенко В. Я. Технология мокрой механизированной сварки при строительстве МЛСП «Приразломная» // Автоматическая сварка. 2005. № 9. С. 37–39.
17. 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.
18. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
19. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
20. Мадатов Н. М. Подводный ремонт кораблей и судов. М.: Воен. изд-во МО СССР, 1965. 280 с.

21. Мадатов Н. М. Подводная сварка и резка металлов. Л. : Судостроение, 1967. 164 с.
22. Патон Б. Е., Лебедев В. А., Максимов С. Ю. Совершенствование оборудования для подводной механизированной и автоматизированной сварки и резки порошковой проволокой // Сварка и Диагностика. 2011. № 5. С. 54–59.
23. Патон Б. Е., Савич И. М. К 100-летию сварки под водой // Автоматическая сварка. 1987. № 12. С. 1–4.
24. Походня И. К., Горпенюк В. Н., Миличенко С. С. Металлургия дуговой сварки: процессы в дуге и плавление электродов . К. : Наукова думка, 1990. 221 с.
25. Савич И. М. Оценка критериев свариваемости под водой низколегированных сталей // Свариваемость и технология сварки конструкционных сталей и чугунов : сб. науч. ст. К. : ИЭС им. Е.О. Патона, 1985. С. 22–26.
26. Савич И. М., Смолярко В. Б., Камышев М. А. Технология и оборудование для полуавтоматической подводной сарки металлоконструкций // Нефтепромысловое строительство. 1976. № 1. С. 10–11.
27. Сачков И. О., Пирумов А. Е., Максимов С. Ю. К вопросу применения нейронных сетей для контроля качества сварных соединений при подводной сварке // Автоматическая сварка. 2006. № 6. С. 27–31.
28. Шлепаков В. Н., Котельчук А. С., Супрун С. А. Идентификация состава порошковых проволок по электрическим сигналам дуговой сварки // Автоматическая сварка. 1999. № 8. С. 37–42.
29. Устинов А. В., Чигарев В. В. Усовершенствование технологии подводной мокрой сварки покрытыми электродами // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2000. № 10. С. 199–2003.

30. Хасель Т., Лизункова Я. С., Бах Ф. В. Структура и свойства сварных валиков, сформированных в подводном состоянии порошковой проволокой // Обработка металлов. 2011. № 1. С. 31–37.

31. Хаустов Ю. А., Гецкин О. Б., Вышемирский Е. М. Оборудование и технологии механизированной сварки в мини-кессоне для ремонта подводных переходов магистральных трубопроводов // Сварка и диагностика. 2013. № 2. С. 52–57.

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

33. Ющенко К. А., Лебедев В. А., Пичак В. Г. Новое поколение полуавтоматов для подводной механизированной сварки и резки // Сварка и Диагностика. 2009. № 4. С. 31–36.

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

35. Zhao D. B., Chen S. B., Wu. L. Intelligent control for the shape of the weld pool in pulsed GTAW with filler metal // Welding Res. 2001. № 11. P. 253–260.