

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: Механизированная подводная сварка герметизирующего устройства

Обучающийся

М.А. Прищемихина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н, доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

А.Н. Кирюшкина

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

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу разработки технологии механизированной подводной сварки. Проектная технология предусматривает применение механизированной сварки под водой самозащитной порошковой проволокой ППС-ЭК-1.

Цель выпускной квалификационной работы – освоение и применение современных технологий подводной сварки в сложных климатических условиях.

В работе следующие решались задачи:

- поиск принципиального решения и разработка технологии стыковки суперблоков кессона на плаву с применением устройства герметизации стыка;
- улучшение механических характеристик сварных швов;
- разработка технологии контроля качества сварных швов;
- совершенствование процесса подводной сварки.

Решая данные задачи, была разработана технология стыковки четырёх суперблоков механизированной подводной сварки с помощью устройства герметизации стыка.

Рассчитанный экономический эффект от мероприятия составил 166 756, 90 тыс. руб.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ состояния вопроса.....	5
1.1 Исходные данные. Сведения о конструкции изделия.....	5
1.2 Данные о материале изделия.....	8
1.3 Анализ исходных данных.....	9
1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации.....	10
1.5 Анализ известных технических решений подводной сварки.....	12
1.6 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.....	14
2 Проектная технология подводной сварки.....	16
2.1 Испытания и опытные работы.....	16
2.2 Технические условия на изготовление и эксплуатацию изделия.....	20
2.3 Сварочные материалы.....	21
2.4 Оборудование и приспособления.....	22
2.5 Гидрологические условия.....	25
2.6 Требования к сборке под сварку.....	25
2.7 Технология сварки под самозащитной порошковой проволокой	27
2.8 Контроль качества сварных соединений.....	29
2.9 Карта технологического процесса сварки.....	29
2.10 Описание хода и результатов решения поставленных задач.....	35
3 Оценочный блок.....	37
3.1 Безопасность и экологичность механизированная подводной сварки устройства герметизации стыка.....	37
3.2 Экономический раздел.....	38
Заключение.....	41
Список используемой литературы.....	42

Введение

Базой изучения выпускной квалификационной работы является Акционерное Общество «Производственное Объединение «Северное машиностроительное предприятие» – судостроительное предприятие, которое входит в состав АО «Объединённая судостроительная корпорация». На предприятии реализовываются высокотехнологичные проекты по созданию современных атомных подводных лодок и других морских сооружений.

Направления деятельности предприятия:

- судостроение;
- модернизация и утилизация судов;
- изготовление оборудования для добычи нефти;
- изготовление продукции для различных отраслей промышленности, в том числе гражданской и др.

В настоящее время подводная сварка находит своё применение в различных сферах. При этом всё большее распространение начинает получать механизированная подводная сварка мокрым способом, при котором в качестве сварочного материала используется порошковая самозащитная проволока. Этот метод привлекает простотой выполнения и оперативностью. Однако при проведении работ возникает ряд трудностей, особенно в суровых климатических условиях.

В настоящий момент происходит развитие и освоение Арктики и Северного морского пути, поэтому тема выпускной квалификационной работы является актуальной. Целью изучения является знакомство с профессиональной сферой деятельности, выделение особенностей процессов, функций, изучение и описание механизированного метода подводной сварки. Подбор способов и методов действий для подводной сварки устройства герметизации стыка.

1 Анализ состояния вопроса «Механизированная подводная сварка»

1.1 Исходные данные. Сведения о конструкции изделия

В выпускной квалификационной работе речь пойдёт о механизированной подводной сварке конструкции устройства герметизации стыка (УГС) морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Морская ледостойкая стационарная платформа

Платформа рассчитана на эксплуатацию в экстремальных природно-климатических условиях, отвечает самым жёстким требованиям безопасности и способна выдержать максимальные ледовые нагрузки.

Конструкция Устройства герметизации стыка представляет собой металлический короб с сечением:

- высотой – 1200 мм от теоретической линии днища
- шириной – 1600 мм (800 мм на сторону от монтажной кромки),

Длина подводной части УГС (днищевая часть) – 128 500 мм, высота УГС по бортовой части – 7790 мм.

Конструктивно УГС состоит из:

- L-образных ответных частей (полукессонов), с толщиной стенки 6 мм;

- внутренних рёбер жёсткости: полос 10×150 мм, шпация 200 мм;
- раскосов: уголок 75×75×6 через 2 метра для сохранения формы УГС в процессе сборочных и транспортировочных работ с суперблоками.

Габариты рабочей зоны, образуемой устройством герметизации стыка – 1100 мм в высоту от полотна днища (борта) и 1200 мм в ширину (600 мм на сторону от монтажной кромки) (рисунок 3). Масса одного устройства герметизации стыка в сборе $\approx$ 50 тонн. Основной материал: углеродистая сталь категории РСА по ГОСТ 5521-93 [6].

Каждая часть УГС (полукессоны) сформирована из сборочных узлов по 3 метра каждый, установленных и приваренных на всём протяжении монтажной кромки полотна днища суперблока – перед выводом из цеха.

Крепление УГС к днищу опорного основания обеспечено:

- непрерывным, герметичным тавровым швом Т7 по ГОСТ 5264-80 [5] (с односторонним скосом кромки, высотой шва 10 + 2 мм и подваркой с обратной стороны), выполненного электродами 48ХН-2.
- подкрепляющими кницами 10×200×300 мм, установленными и приваренными через 200 мм.

На свободных кромках частей УГС предусмотрены «воротники» – соприкасающиеся друг с другом при сведении суперблоков на плавучей пластине:

- 10×370 – «жёсткий воротник»;
- 6×285 – «гибкий воротник», образующие в сборе нахлесточные соединения, обеспечивающие герметичность соединения УГС (рисунок 2).

Наружное соединение – выполняемое непосредственно в воде, с применением полуавтоматической сварки порошковой проволокой, расположено с наружной стороны воротника УГС. Внутреннее соединение – выполняемое после откачки воды из УГС ручной электродуговой сваркой покрытыми электродами марки УОНИИ 13/45Р находящееся внутри объема, образованного стенками УГС и полотном днища.

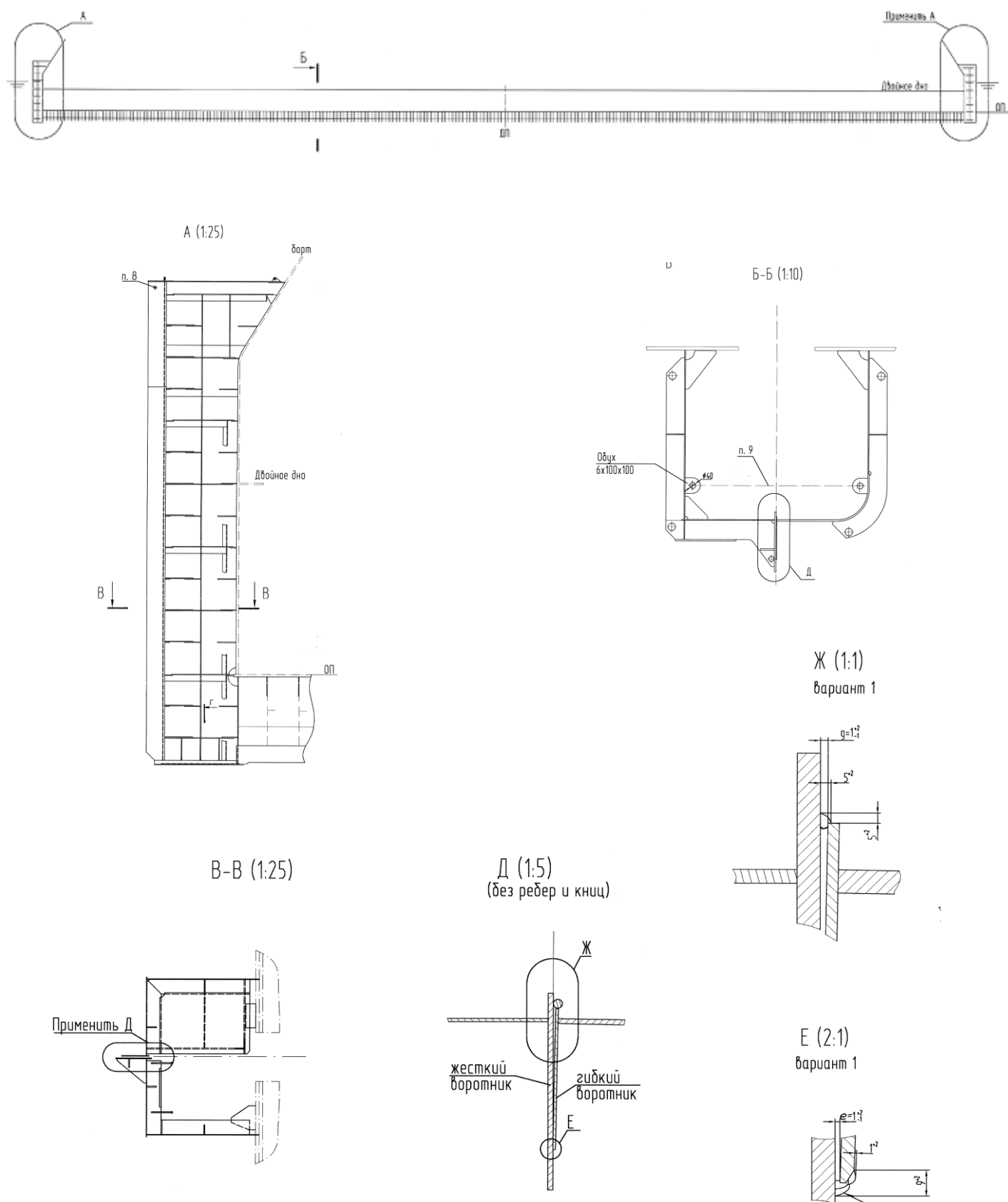


Рисунок 2 – Устройство герметизации стыка

По окончании сварки наружного соединения производится откачка воды и осушка объёма УГС.

Доступ в зону УГС по окончании сборочно-сварочных работ осуществляется через лаз 580×1100 по бортовой части УГС, находящийся выше ватерлинии $\approx 1500 \div 1600$ мм.



Рисунок 3 – Устройство герметизации стыка

1.2 Данные о материале изделия

Основной материал УГС - это углеродистая сталь категории РСА по ГОСТ 5521-93 [6] (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав в %

Mn	S	C	Si	Ni	Cr	Cu	P	As	N
0,4 – 1,4	до 0,04	до 0,21	0,15 – 0,35	до 0,4	до 0,3	до 0,35	до 0,04	до 0,08	до 0,008

Способ изготовления

Прокат стальной горячекатаный изготовлен из стали нормальной прочности под надзором Регистра (РС).

Таблица 2 – Группа прочности. Механические свойства при $t = 20^{\circ}\text{C}$

Предел кратковременной прочности	Предел текучести для остаточной деформации	Относительное удлинение при разрыве
400 – 490 МПа	235 МПа	22 %

Контроль качества

Произведён обязательный ультразвуковой контроль с целью выявления расслоений, неметаллических включений (Таблица 2). Размеры листов и предельные отклонения соответствуют требованиям ГОСТ 19903 [3]. Механические свойства на растяжение и на ударный изгиб отвечают нормам. Содержание химических элементов не превышает предельно допустимых показателей.

Сертификация

Соответствие техническим стандартам подтверждено сертификатами Морского и Речного Регистров РФ.

1.3 Анализ исходных данных

В процессе разработки технологии сварки выбранной конструкции УГС были выполнены серии опытных работ по подводной сварке с использованием различных сварочных материалов, режимов сварки и вариантов разделки кромок.

Установка устройства герметизации стыка - это лишь временный этап, который обеспечивает герметизацию днища ледостойкой платформы. А её главным параметром является герметичность и водонепроницаемость.

Базовая технология представляла из себя механизированную подводную сварку с однопроходным нахлесточным соединением. Но при этом качество сварного соединения не удовлетворяла требованиям Морского и Речного Регистров РФ.

Уровень напряжений, возникающих в процессе подводной сварки, в сочетании с водородом оказывает влияние на образование подваликовых трещин [11].

Причинами низкого качества сварного соединения также служат такие факторы как:

- быстрое охлаждение сварного соединения в условиях воздействия холодной воды;
- образование водорода в зоне сварки;
- затруднение визуального контроля шва из-за газовых пузырей и плохой видимости в мутной морской воде.

1.4 Предварительный обзор источников научно-технической информации

При изучении темы «подводная сварка» я воспользовалась электронной библиотекой АО «ПО «Севмаш», в базе данных предприятия достаточно много научно-технической литературы по теме подводной сварки. По ключевым словам, мною было найдено более 30 статей из различных научных журналов.

В XIX веке появились первые упоминания о сварке под водой. Процесс горения дуги поддерживается за счёт выделения газов, которые образуются при плавлении электродов.

В 1932 году советский инженер К.К. Хренов практически доказал возможность горения дуги под водой. Газовый «пузырь» получается из-за испарения воды, пара и газов металла, который плавится. Процесс горения показан на рисунке 4.

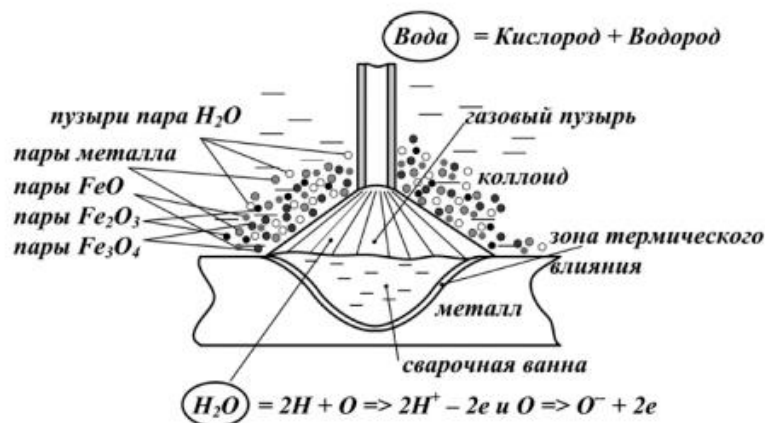


Рисунок 4 – Процесс горения дуги под водой

Суть технологии сварки под водой заключается в том, что сварочная дуга поддерживает стабильное горение в газовой среде при относительно низких температурах. В процессе выделяется газ, который образует воздушный пузырь и обеспечивает возможность для формирования устойчивой дуги.

Технология подводной сварки широко применяется в различных областях и постоянно развивается. Создаётся новое оборудование и материалы для этого направления [1, 19, 20].

Основными направлениями исследования сварки под водой в настоящее время являются: разработка специализированной одежды для подводных сварщиков [2, 7], разработка технологии контроля качества сварных швов, улучшение механизированных характеристик сварных швов [11], совершенствование процесса подводной сварки [8] – [10].

Совершенствование процессов подводной сварки происходит во многих странах мира, основными из которых являются США, Китай, Япония и многие Европейские страны.

В России большой вклад в современное развитие подводной сварки вносит доктор технических наук Паршин Сергей Георгиевич [12] – [18]. Он создал, запатентовал и внедрил в производство химические составы и конструкции порошковых проволок для мокрой подводной сварки и резки сталей, является автором многих статей в научных журналах.

1.5 Анализ известных технических решений подводной сварки

В настоящий момент в качестве известных решений существуют следующие виды подводной сварки:

- сухая точечная сварка;
- сварка в сухой камере в воздушной среде;
- сварка в сухой камере при атмосферном давлении;
- мокрая ручная дуговая сварка;
- мокрая полуавтоматическая сварка.

В работе мы подробно рассмотрим данные виды сварки под водой, проанализируем их и докажем, что применение мокрой сварки «Устройства герметизации стыка» опорного основания ледостойкой платформы является наиболее оптимальным.

Сухая точечная сварка

Сухая точечная сварка заключается в том, в сухой глубоководной камере находится сварщик и сварной узел. Сварка происходит при этом в сухой среде. Сварные швы при этом по качеству такие же, как и при сварке в сухой среде. Однако, сама по себе глубоководная камера велика по размерам и громоздка. Её сооружение достаточно дорогостоящий и сложный процесс, который требует использование вспомогательных сосудов и плавучих кранов. Поэтому использование данного вида сварки в нашем случае нецелесообразно.

Сварка в сухой камере в воздушной среде

Данный вид сварки представляет барокомплекс, состоящий из гидротанка, жилого и шлюзового модулей. При этом сваривание происходит на высоком гидростатическом давлении, а водолаз-сварщик находится в сухой среде. Сварка осуществляется на таком же сварочном оборудовании, что и в сухой среде. Следовательно, и швы, полученные при сварке в сухой камере в воздушной среде, являются качественными. Но, как и в первом

случае, данная сварка является очень дорогостоящей и не подходит для изготовления подводной сварки устройства герметизации стыка.

Сварка в сухой камере при атмосферном давлении

Сварка в сухой камере при атмосферном давлении выполняется в кессоне, который представляет собой металлическую конструкцию и герметично крепится на сварную конструкцию. Процесс сварки заключается в том, что сначала происходит монтаж камеры, далее выкачивается вся вода, создаётся избыточное давление и помещение заполняется специальной газовой смесью. Эта смесь зависит от способа и специфики сварки. Главным преимуществом метода заключается в гарантированном качестве соединительного шва. А постепенное остывание металла улучшает его ударную вязкость. Однако у данного типа сварки существуют недостатки такие как, сложность в обеспечении герметичности сварочной камеры и поддержанием необходимого давления внутри неё. А также очень высокая стоимость оборудования и необходимость в большом количестве обслуживающего персонала. Соответственно данный тип сварки мы также использовать не будем.

Мокрая ручная дуговая сварка

Мокрая ручная дуговая сварка – это самый распространённый метод подводной сварки. Сварной шов формируется непосредственно в водной среде. А электрическая дуга горит под защитой газового пузыря, который образуется вокруг электрода. Водолаз-сварщик находится непосредственно в водной среде, свободно перемещается и применяет сварочное оборудование даже в труднодоступных местах, при этом использует электроды для подводной сварки. Данный вид сварки является наиболее бюджетной. Однако у неё есть ряд недостатков. Например, минимальная производительность в виду специфики ручного метода работы, зависимость качества шва от профессионализма сварщика, прерывистый характер процедуры. Также постоянно требуется отслеживать результат и менять сгорающий электродный стержень. Поэтому мы не будем останавливаться на

ручной дуговой сварке. А рассмотрим ещё один вариант изготовления сварного шва УГС.

Мокрая механизированная подводная сварка

Мокрая механизированная подводная сварка – это тип сварки, которая позволяет производить сварку непосредственно в водной среде с использованием водонепроницаемого электрода. Сварочный аппарат размещается в сухой среде, а сварщик работает с электродом под водой. В качестве сварочного материала используется порошковая самозащитная проволока. Механизированная подача проволоки позволяет длительное время вести процесс сварки без перерывов.

В процессе разработки технологии сварки выбранной конструкции УГС были выполнены серии опытных работ по подводной сварке с использованием различных сварочных материалов, режимов сварки и вариантов разделки кромок. Итогом выполненных исследований явилась разработка технологии механизированной подводной сварки герметизирующего устройства суперблоков.

На основании положительных практических результатов выполненных исследований технологии полуавтоматической подводной сварки самозащитной порошковой проволокой марки ППС-ЭК1 указанная технология была рекомендована для выполнения герметизирующего шва технологического кессона.

Выявленные технологические особенности учтены при разработке спецификации процесса сварки и чертежах № 20045.362191.0002 «Приварные кессоны. Конструктивный чертёж», № 20045.360215.0008 «Узел стыковки УГС под водой».

1.6 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В связи со стремительным развитием судостроения и судоремонта в нефтяной и газовой отрасли, а также развитием Арктики и новых

месторождений, основными целями и задачами в выпускной квалификационной работе являются:

- поиск принципиального решения и разработка технологии стыковки суперблоков кессона на плаву с применением устройств герметизации стыка;

Необходимо обеспечить безусловную надёжность сооружения на весь 25-летний срок эксплуатации в экстремальных условиях. На предприятии были построены 4 суперблока. Но самое сложное – это процесс соединения их в единое целое. В условиях завода производить сварку на суше было невозможно. Поэтому за основу взята технология, которую разработали в 60–70-е годы в институте Патона.

«Для соединения суперблоков была применена известная технология поэтапной их сборки с применением сухого кессона (устройства герметизации стыка – УГС). Она заключается в том, что на стапеле при изготовлении каждой секции размером $126 \times 31,5 \times 24,2$ метров в её нижней части монтируется половина удаляемого впоследствии сухого кессона» [21].

- улучшение механических характеристик сварных швов;

Сварка должна осуществляться под надзором Российского морского регистра судоходства.

- разработка технологии контроля качества сварных швов;

- совершенствование процесса подводной сварки.

2 Проектная технология механизированной подводной сварки

2.1 Испытания и опытные работы

Базовой технологией соединения устройства герметизации стыков суперблоков являлась однопроходная механизированная сварка (рисунок 5).

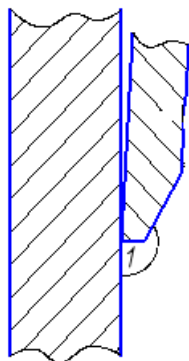


Рисунок 5 - Базовая техника формирования сварного соединения

В результате испытаний сварного соединения было выявлено, что изгиб поверхности шва и статическое растяжение являются неудовлетворительными и не отвечают необходимым требованиям.

В данной ситуации было принято решение проводить ряд испытаний на контрольных планках водолазами-сварщиками на глубине 5 - 7 метров в акватории Белого моря в холодной морской воде. Водолазы сваривали под водой в потолочном положении нахлесточные соединения на контрольных планках толщиной 6 и 10 мм.

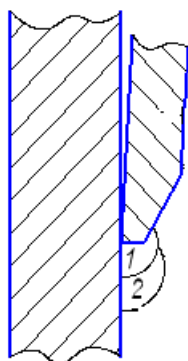


Рисунок 6 - Двухпроходное нахлесточное соединение

В результате испытаний сварного двухпроходного соединения (рисунок 6) было выявлено, что изгиб поверхности шва и статическое растяжение является удовлетворительным. Но испытания керосином в течение часа на меловой экран показали, что данная технология не обеспечивает полной непроницаемости сварных соединений.

И единственным видом соединения по результатам испытаний, который удовлетворял всем механическим свойствам и требованиям РМРС оказалось трехпроходное нахлесточное соединение (рисунок 7).

1. Испытания получаемых нахлесточных соединений керосином на меловой экран показали, что данная технология обеспечивает непроницаемость сварных соединений.

2. Физико-механические испытания, изображенные на рисунках 8 –10, таблице 3 и проведённые в соответствии с ГОСТ 6996-66 контрольных сварных соединений, выполненных по опытной технологии механизированной подводной сварки, подтвердили соответствие механических свойств сварных соединений эксплуатационным требованиям, предъявляемым при использовании УГС.

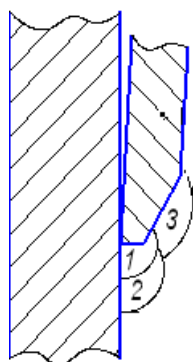


Рисунок 7 - Трехпроходное нахлесточное соединение

Таблица 3 - Результаты испытаний сварного трехпроходного соединения

Статическое растяжение: $R_m, (\sigma_b), \text{МПа} :$	Статический изгиб: угол загиба, град.	Твёрдость по Виккерсу HV_{10}^*		
		Основной металл	Зона термического влияния (ЗТВ)	Металл шва
392; 448	48; 43	153,1 ÷ 158,5	213 ÷ 281	157 ÷ 182
Примечание * Замеры твёрдости выполнены согласно ГОСТ 2999-75 [4], по схеме замеров, представленной в Правилах РМРС для углового шва (Рисунок 7).				



Рисунок 8 – Микрошлиф



Рисунок 9 – Натуральный образец на статический изгиб

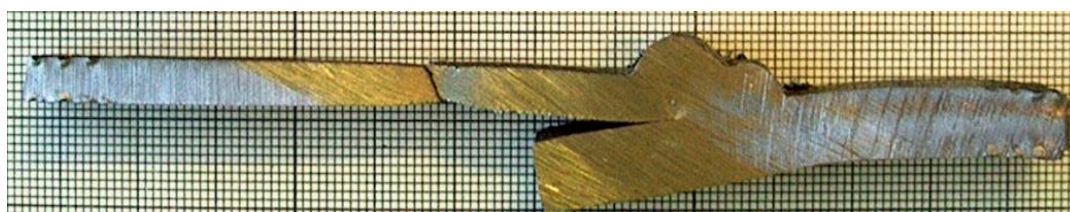


Рисунок 10 – Натуральный образец на статическое растяжение

На основании положительных практических результатов выполненных исследований технологии полуавтоматической подводной сварки

самозащитной порошковой проволокой марки ППС-ЭК1, указанная технология была рекомендована для выполнения герметизирующего шва технологического кессона.

Выявленные технологические особенности учтены при разработке спецификации процесса сварки и чертежах № 20045.362191.0002 «Приварные кессоны. Конструктивный чертёж», № 20045.360215.0008 «Узел стыковки УГС под водой».

В связи с проведением надзора за операцией стыковки суперблоков на плаву Российским Морским Регистром Судоходства (РМРС) изготовление УГС соответственно явилось предметом надзора за проведением указанных работ.

По результатам выполнения этапов работ и последующих проведённых испытаний были достигнуты следующие результаты.

1 Разработанная опытная технология механизированной подводной сварки с использованием самозащитной порошковой проволоки ППС-ЭК1 была аттестована Архангельской инспекцией РМРС. В процессе опытных работ были определены:

- оптимальная форма подготовки кромок под сварку;
- сварочные материалы – порошковая проволока ППС-ЭК1 по ТУ-14288312.003-97.
- оптимальные режимы сварки, обеспечивающие стабильность процесса сварки и формирования сварного шва;
- техника и последовательность сварки – раскладка валиков с поперечными колебаниями.

2 Аттестованы сварщики-исполнители на следующие виды работ:

- сварка подводного (наружного) соединения УГС самозащитной порошковой проволокой ППС-ЭК1;
- сварка внутреннего соединения УГС покрытыми электродами УОНИИ 13/45Р по ранее аттестованной технологии сварки, применяемой в надводном судостроении.

Результатами разработки технологической инструкции по подводной сварке являются.

1 СПС № СВП-1 – Спецификация процесса сварки, имеющая Свидетельство РМРС № 04.71196.190 об одобрении технологии сварки.

2 СИСС № ВП-1 – Спецификация испытаний сварного соединения с протоколом испытаний.

3 Разработанная и согласованная заинтересованными сторонами технологическая инструкция по механизированной сварке герметизирующего устройства суперблоков МЛСП № 20045.360215.0009, оговаривающая:

- квалификацию исполнителей и ИТР;
- сварочные материалы и оборудование;
- условия сварки (гидрологические условия);
- требования к сборке под сварку;
- непосредственно технологию сварки под водой самозащитной порошковой проволокой ППС-ЭК1;
- контроль качества сварных соединений, выполненных под водой;
- основные требования техники безопасности при электросварочных работах под водой.

2.2 Технические условия на изготовление и эксплуатацию изделия

К выполнению механизированной сварки под водой при работе на УГС допускаются водолазы-сварщики не ниже 2 класса I-II группы специализации, изучившие инструкцию, и сдавшие практические экзамены по подводной сварке в требуемых проектом нахлесточных вертикальных и потолочных положениях. Сваренные образцы проходят испытание по ГОСТ 6996-66 на растяжение, загиб и непроницаемость на керосин.

Результаты проверки практических навыков оформляются протоколом.

К работе с водолазом в качестве оператора допускаются сотрудники предприятия, изучившие электрическую схему и принцип работы полуавтомата, источников питания дуги, «Единые правила безопасности труда на водолазных работах», РД 31.84.01-90, выдержавшие теоретические и практические испытания и проведённые приказом по предприятию.

Руководитель сварочными работами назначается приказом по предприятию. Контроль за соблюдением технологии и качеством выполняемых работ возлагаются на руководителя сварочных работ.

2.3 Сварочные материалы

Для сварки стали РСА ГОСТ 5521-93 [6]. В морской воде используется порошковая проволока ППС-ЭК-1 диаметром 1,6 мм (рисунок 11).

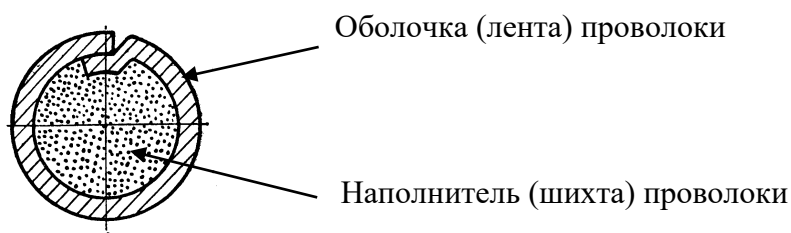


Рисунок 11 – Порошковая проволока ППС-ЭК-1 диаметром 1,6 мм.

Порошковая проволока ППС-ЭК-1 должна отвечать требованиям технических условий ТУ-14288312.003-97 по химическому составу, коэффициенту заполнения и другим параметрам. Сварочная проволока должна иметь поверхность без резких перегибов.

Наличие на поверхности проволоки ржавчины и других загрязнений не допускается. При наличии загрязнений перед сваркой должна производиться очистка сварочной проволоки любыми способами, обеспечивающими их удаление и не нарушающими её герметичность.

Мотки порошковой проволоки должны быть упакованы в полимерную плёнку и уложены в металлические бочки с закатанными донышками. В

таком виде порошковая проволока должна поступать потребителю и храниться у него в сухом отапливаемом помещении.

На катушку полуавтомата порошковая проволока должна наматываться рядовой укладкой вручную, таким образом, чтобы витки намотанной проволоки не перехлёстывались и не скручивались.

2.5 Оборудование и приспособления

Механизированная подводная сварка, должна производиться только на постоянном токе обратной полярности (плюс на электроде) с использованием источников сварочной дуги с жёсткой внешней вольтамперной характеристикой. Источник питания сварочный выпрямитель ВС-300. Во время работы сварочные кабели, идущие от источника питания дуги до пульта управления и к свариваемому изделию, запрещено наматывать на какой-либо предмет и укладывать в виде бухт. Сварка выполняется полуавтоматом А1660, ПСП-3 внахлёстку в потолочном и вертикальном положениях (таблица 4).

Таблица 4 – Технические характеристики аппарата ПСП-3

Характеристика	Ед. измерения	Значение
1	2	3
Номинальное напряжение питающей сети на блоке управления	вольт	220+8%
Потребляемая мощность для блока управления, не более	ватт	600
Напряжение холостого хода сварочной цепи	вольт	20÷36
Номинальный сварочный ток (при ПВ = 60%)	ампер	500
Пределы регулирования сварочного тока (источник сварочного тока ВД-506)	ампер	60÷500
Диаметр электродной проволоки - стальная сплошная - порошковая	мм	0,8÷1,2 1,2÷2,8

Продолжение таблицы 4

1	2	3
масса, не более	кг	
- погружного блока (без проволоки)		15
- блока управления		10
Габариты, не более	мм	
- погружного блока		500/220/350
- блока управления		450/270/200
Расстояние между механизмом подачи и блоком управления (при стандартном сечении кабеля), не более	метров	190
Максимальная глубина погружения	метров	170
Давление защитного газа при максимальной глубине погружения, не менее	МПа (кг/см ²)	2,2 (22)
Скорость подачи электродной проволоки	м/ч	45÷930

Пост механизированной подводной сварки, кроме узлов, входящих в комплект сварочного оборудования, дополнительно оснащается:

- гидродинамическим инструментом МНС-30, ДП-16 набором металлических щёток и армированных абразивных кругов толщиной 3-6 мм для зачистки и подгонки свариваемых поверхностей, а также для удаления шлака и дефектных участков сварного шва;

- щёткой стальной прямоугольной (ГОСТ 7236-54);

- зубилом слесарным (ГОСТ 7211-54);

- защитным приспособлением для сварки с набором светофильтров, стекло марки ТС-3, класс светофильтра ЗС-ЮО, классификационный номер 3 - при сварке в воде с видимостью до 50 см и ЭС-300, классификационный номер 2 - при сварке в воде с видимостью более 50 см. Возможно также применение защитных светофильтров марки ТС-1 и ТС-2, класс В-1, В-2 и В-3, классификационные номера 3, 4;

- набором трубцин, шпилек и клиньев для прижатия металла.

Оборудование для обеспечения выполнения сварки под водой.

В качестве производственной базы СВП используется водолазный теплоход «Водоём» водоизмещением 135,7 т.

Теплоход оснащён водолазным снаряжением, позволяющим обеспечивать проведение водолазных работ на глубину до 60 метров:

- водолазные компрессора высокого давления ЭК-2-150 – 2 шт.;
- фильтры высокого давления ФВД-200;
- водолазная рекомпрессионная барокамера РКМ-У;
- хранилище сжатого воздуха (кассета 14-40-150 кг\см²);
- спускоподъёмные устройства 500 кг – 2 шт.;
- пульт распределения воздуха на 3-х водолазов;
- стационарный и переносной подводный телевизионный комплекс визуального контроля за работой водолаза, нашлемные цветные подводные видеокамеры – 2 шт. Боксированная автономная – 1 шт.;
- водолазные шлема «Comex pro» – 2 шт.;
- водолазные шлема «Kirby Morgan» – 3 шт.;
- волно-лицевые маски «Kirby Morgan» – 2 шт.;
- полно-лицевые маски «Comex pro» – 4 шт.;
- ласты, боты, перчатки, средства защиты;
- костюмы сухого и мокрого типа – 12 шт.;
- водолазные ножи, обвязки, фонари, глубиномеры;
- автономные и стационарные водолазные телефонные станции – 4 шт.;
- индивидуальные нашлемные светильники, система подводного освещения ПС-9, ППС-1000 – 6 шт.;
- подводный сварочный комплекс «Нептун» - 1шт., ПСП-3 (боксированные полуавтоматы) – 2 шт.;
- источник сварочного тока ВС-300, ВД-506 – 2 шт.;
- подводный комплекс электрокислородной резки – 3 шт.;
- кавитационная установка для подводной очистки корпусов судов и гидротехнических сооружений;
- средства неразрушающего контроля (ультразвуковой толщиномер УТ-80);

- автономные воздушные хранилища воздуха: акваланги $2 \times 3,5 \times 225$ кг\см² – 4 шт., акваланги 7-ми, 10-литровые – 4 шт.;
- кабель – шланг – сигнал: 75 метров – 2 шт., 40 метров – 1 шт.;
- измерительный инструмент (водолазные линейки, креномер, штангенциркули, бухтиномер и др.);
- водоотливные средства низкого и высокого давления общей производительностью 700 м³/час;
- компрессор высокого давления (переносной) – 1 шт.

2.5 Гидрологические условия

При выполнении подводной механизированной сварки должны быть приняты меры, препятствующие «смыванию» дуги и парогазового пузыря с реакционной зоны. Допустимая скорость течения, при которой можно работать без отбойных щитов: до 0,5 м/с.

Механизированную подводную сварку разрешается производить при любой температуре воды.

Минимальная прозрачность воды, при которой возможна механизированная подводная сварка – 0,25 метра. При такой прозрачности воды, а также при волнении на контактный мундштук, дополнительно к изолирующему чехлу необходимо надевать диэлектрическую втулку в виде отрезка кислородного шланга с внутренним диаметром 10-12 мм, обеспечивающую гарантированный вылет электрода: 5-10 мм.

2.6 Требования к сборке под сварку

Сборка нахлесточного соединения УГС выполняется на всю длину конструкции.

До начала сборки и сварки металлоконструкций под водой следует:

— очистить наружную поверхность свариваемых элементов от грязи и других посторонних предметов;

— установить струбцины и обжечь свариваемые детали УГС;

— зачистить до металлического блеска свариваемые кромки и прилегающие к ним наружную поверхности в местах прихваток на ширину не менее 20 мм. Зачистка производится металлическими щётками и абразивными кругами. Прихватки выполняются через 250-300 мм. Высота прихватки не должна превышать 5 мм, длина 100 мм.

Перед сваркой прихватки необходимо зачистить от шлака, сварочных брызг и проконтролировать внешним осмотром на отсутствие пор, трещин, надрывов и шлаковых включений. В случае обнаружения указанных дефектов прихватку удалить, зачистить кромки и выполнить повторную прихватку.

После контроля правильности сборки свариваемых деталей УГС струбцины снимаются. Контроль осуществляется при помощи подводного видео-телекомплекса.

Техника видеосъёмки подводных объектов обеспечивает получение объективной информации о внешнем состоянии объекта для дальнейшего принятия решения о необходимости, характере и объёме работ на объекте. В процессе проведения подводной видеосъёмки и контроля результатов работ участвуют: представитель заказчика, исполнитель видеосъёмки и оператор (водолазная станция).

При выполнении монтажных, сварочных и демонтажных работах на УГС используется следующее оборудование для выполнения подводной видеосъёмки:

— судно обеспечение, водолазный комплекс;

— наплемная кабельная боксированная камера, VISION HI-TEACH VB-21C-B29 два комплекта;

- автономная камера TRV 3400 в боксе TV SONY 75m, DV DCR-TRV 900E;
- автономные и кабельные подводные светильники;
- двусторонняя подводная кабельная телефонная связь.

2.7 Технология сварки под водой самозащитной порошковой проволокой ППС-ЭК-1

Непосредственно перед сваркой конструкции руководитель сварочных работ обязан провести проверку чистоты сварочных кромок, прилегающих плоскостей и соблюдения мероприятий по защите зоны сварки от воздействия течения.

Перед спуском водолаз-сварщик должен ознакомиться с технологическими указаниями по сварке данной конструкции, убедиться в исправности своего снаряжения и сварочного оборудования. При сварке должны соблюдаться следующие требования:

- при многопроходной сварке швов нахлесточных соединений не допускается совмещение кратеров в одном сечении;
- наложение каждого последующего прохода, должно производиться после тщательной зачистки предыдущего прохода от шлака;
- необходимо соблюдать точное направление проволоки по оси стыка и равномерное перемещение держателя полуавтомата вдоль шва;
- в случае обрыва дуги перед началом сварки кратер шва на расстоянии 10-15 мм должен быть очищен от шлака и повторно зашлифован абразивным кругом. Зажигание дуги производится на расстоянии 10-15 мм от кратера;
- сварку следует заканчивать заваркой кратера;
- в местах изменения направления не рекомендуется начинать и заканчивать сварку;

- высота первого валика в многопроходных швах должна быть в пределах 5-7 мм;
- сварку первого прохода нахлесточных соединений при зазоре до 3 мм следует выполнять без поперечных колебаний конца электрода, а при зазоре более 3 мм – с поперечными колебаниями на 1 – 1,5 мм от центра шва (разводка выполняется кистью руки). Второй и третий проходы выполняются только с поперечными колебаниями конца электрода;
- сварка выполняется за три прохода. Высота 6 мм, ширина 9 мм. Прихватки не удаляются, переплавляются в процессе сварки. Допуск увеличения усиления шва до 30 %;
- сварка нахлесточного соединения осуществляется обратноступенчатым способом. От середины к краям УГС. После окончания сварки металл шва и прилегающие к шву участки должны быть зачищены от шлака и брызг;
- полуавтомат, источник питания дуги и полностью собранная сварочная цепь проверяются перед погружением на сварку. Падение напряжения на приборе шкафа управления при сварке на поверхности не должно превышать 6 В от напряжения холостого хода (ток дуги 200 А). Для снижения величины падения напряжения на дуге необходимо, по возможности уменьшить длину сварочной цепи.

Рекомендуемые режимы механизированной сварки под водой приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Режимы механизированной сварки под водой нахлесточных и соединений порошковой проволокой ППС-ЭК-1

Толщина металла мм	Положение в пространстве	Диаметр проволоки, мм	Напряжение дуги, В	Ток, А	Скорость сварки 10^{-3} м/с	Количество слоёв
6÷8	Вертикальное Потолочное	<u>1.4-1.6</u> 1.6	<u>28-30</u> 29-31	<u>140-180</u> 140-180	<u>1.66-2.22</u> 1.94-2.5	3

2.8 Контроль качества сварных соединений

Швы сварных соединений должны быть проконтролированы внешним осмотром с использованием подводного видео-телекомплекса и приняты руководителем сварочных работ.

Швы сварных соединений должны регистрироваться в специальном журнале с указанием на схеме расположения каждого шва и фамилий сварщиков, выполнявших эти швы.

Поверхность швов, сваренных под водой, должна быть ровной, плотной, без трещин, шлаковых включений. Переход от наплавленного металла к основному должен быть плавным, без подрезов и наплывов.

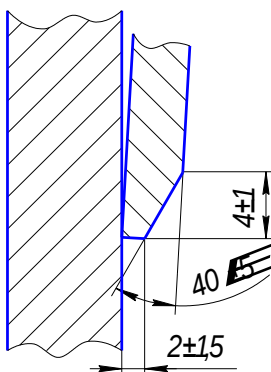
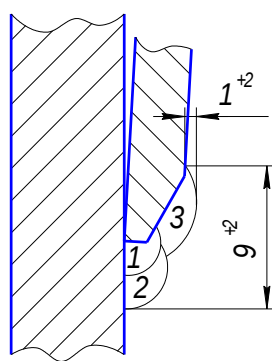
Обнаруженные на шве местные дефекты необходимо разделить и подварить. Качество работ по исправлению дефектных участков ответственных сварных соединений проверяется внешним осмотром с использованием подводного видео-телекомплекса руководителем сварочных работ. В процессе выполнения сварочных работ все швы снимаются подводным видео-телекомплексом и записываются на flash-накопители.

После окончания сварочных работ швы УГС проверяются на герметичность путём откачки воды из кессона и УГС.

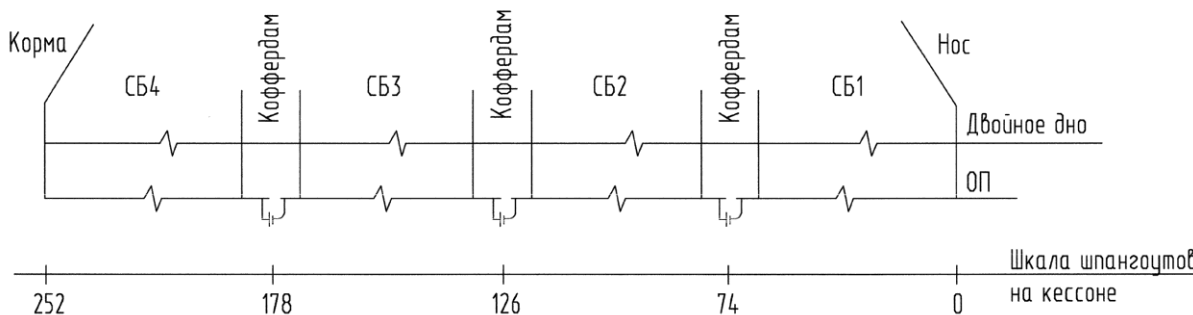
2.9 Карта технологического процесса сварки

В ходе изучения механизированной подводной сварки герметизирующего устройства были составлены особенности базовой технологии (таблица 6, рисунки 12-14).

Таблица 6 – Карта технологического процесса

Наименование	Значение
1	2
Способ сварки	Механизированная сварка под водой
НТД по сварке	ГОСТ 5521-93, ГОСТ 5264-80, ГОСТ 3242-79, технологическая инструкция № 20045.360215.0009
Основной материал	Сталь РСА, ГОСТ 5521-93
Типоразмер, мм	Длина 128500 мм. Толщина «жёсткого» воротника 10 мм, толщина «мягкого» воротника 6 мм
Вид соединения	Трехпроходное нахлесточное соединение
Вид разделки	Односторонняя со скосом кромок
Параметры подготовки, сборки стыка под сварку и параметры готового сварного шва	
 Рисунок 12 – Подготовка кромок перед сваркой  Рисунок 13 – Техника формирования сварного соединения	
Требования прихватке	к Прихватки выполняются через 250-300 мм. Высота прихватки не должна превышать 5 мм, длина 100 мм. Перед сваркой прихватки необходимо зачистить от шлака, сварочных брызг и проконтролировать внешним осмотром на отсутствие пор, трещин, надрывов и шлаковых включений. В случае обнаружения указанных дефектов прихватку удалить, зачистить кромки и выполнить повторную прихватку.
Сварочные материалы	Сварочная проволока Самозащитная порошковая проволока ППС-ЭК1 диаметром 1,6-1,4 мм. Порошковая проволока изготовлена из ленты по ГОСТ 503-71 материал ленты - низкоуглеродистая сталь 08кп по ГОСТ 1050.
Положение при сварке	шва Соединение в потолочном и вертикальном положениях

Продолжение таблицы 6

1	2					
Термообработка	Нет					
Подогрев	Режимы предварительного подогрева не требуются.					
Сварочное оборудование	Подводный сварочный комплекс «Нептун», аппарат подводной сварки погружной ПСП-3 (боксеризованный полуавтомат) – непосредственно находящийся в воде, источник питания ВС-300 или ВД-506.					
Режимы сварки						
Положение в пространстве	Толщина металла, мм	Диаметр проволоки, мм	Напряжение дуги, В	Ток, А	Скорость сварки 10-3 м/с	Количество слоёв
Вертикальное Потолочное	5-10	$\frac{1.4-1.6}{1.6}$	$\frac{28-30}{29-31}$	$\frac{140-180}{140-180}$	$\frac{1.66-2.22}{1.94-2.5}$	3
Род тока, полярность: на постоянном токе обратной полярности (плюс на электроде) с использованием источников сварочной дуги с жёсткой внешней вольтамперной характеристикой. Источник питания сварочный выпрямитель ВС-300.						
Продольный разрез  Шкала шпангоутов на кессоне						
Рисунок 14 – Порядок сварки						
Порядок сварки	Номер стыка (порядок формирования)	Стыкуемые конструкции	Район расположения на кессоне			
	1	СБ2+СБ3	126 шпангоут			
	2	СБ4+(СБ2+СБ3)	178 шпангоут			
	3	СБ1+(СБ2+СБ3+СБ4)	74 шпангоут			

Продолжение таблицы 6

1	2
Технологические требования к сборке	Подготовка и сборка деталей под сварку должна производиться по чертежу № 20045.362191.0002, сборка нахлесточного соединения УГС выполняется на всю длину конструкции. До начала сборки и сварки металлоконструкций под водой следует: –очистить наружную поверхность свариваемых элементов от грязи и других посторонних предметов; –установить струбцины и обжечь свариваемые детали УГС. –зачистить до металлического блеска свариваемые кромки и прилегающие к ним наружную поверхности в местах прихваток на ширину не менее 20 мм. Зачистка производится металлическими щётками и абразивными кругами. После контроля правильности сборки свариваемых деталей УГС струбцины снимаются. Контроль осуществляется при помощи подводного видео-телекомплекса в объёме 100%. Приёмку качества сборки узла под сварку осуществляет руководитель сварочных работ с отражением в приёмочном журнале.
Технологические требования к сварке	Ежедневно, каждым сварщиком, перед непосредственным началом сварочных работ должна выполняться сварка пробы, аналогичной узлу сварки стыка УГС для подтверждения правильности настройки режима сварки, техники и условий сварки для формирования качественного сварного шва. Длина пробы не менее 100 мм. Руководитель сварочных работ, по результатам внешнего осмотра выполненных проб в письменной форме даёт заключение о результатах осмотра и разрешение о начале сварочных работ на стыке УГС. Один раз в неделю сваренные пробы проходят механические испытания по ГОСТ 6996-66 (испытания на излом). Непосредственно перед сваркой конструкции руководитель сварочных работ обязан провести проверку чистоты сварочных кромок, Перед спуском водолаз-сварщик должен ознакомиться с технологическими указаниями по сварке данной конструкции, убедиться в исправности своего снаряжения и сварочного оборудования. При сварке должны соблюдаться следующие требования: – при многопроходной сварке швов нахлесточных соединений не допускается совмещение кратеров в одном сечении; – наложение каждого последующего прохода, должно производиться после тщательной зачистки предыдущего прохода от шлака; – необходимо соблюдать точное направление проволоки по оси стыка и равномерное перемещение держателя полуавтомата вдоль шва.

Продолжение таблицы 6

1	2
Технологические требования к сварке	В случае обрыва дуги перед началом сварки кратер шва на расстоянии 10-15 мм должен быть очищен от шлака и повторно зашлифован абразивным кругом. Зажигание дуги производится на расстоянии 10-15 мм от кратера. Сварку следует заканчивать заваркой кратера. В местах изменения направления не рекомендуется начинать и заканчивать сварку. Высота первого валика должна быть в пределах 5-7 мм. Сварку первого прохода нахлесточных соединений при зазоре до 3 мм следует выполнять без поперечных колебаний конца электрода, а при зазоре более 3 мм - с поперечными колебаниями на 1-1,5 мм от центра шва (разводка выполняется кистью руки). Второй и третий проходы выполняются только с поперечными колебаниями конца электрода. Сварка выполняется за три прохода. Габариты получаемого сварного шва: катет 6 мм, ширина 9 мм. Прихватки не удаляются, переплавляются в процессе сварки. Допускается увеличение усиления шва до 30%. Сварка нахлесточного соединения осуществляется обратноступенчатым способом, от середины к краям монтажного стыка УГС. После окончания сварки металл шва и прилегающие к шву участки (не менее 20 мм на сторону от края шва) должны быть зачищены от шлака и брызг.
Требования по контролю качества сварных соединений	Перед сваркой следует контролировать: – наличие у сварщика допуска к выполнению данной работы; – качество сборки, или наличие соответствующей маркировки на собранных элементах, подтверждающих надлежащее качество сборки; – состояние кромок и прилегающих поверхностей; – наличие документов, подтверждающих положительные результаты контроля сварочных материалов; – состояние сварочного оборудования или наличие документа, подтверждающего надлежащее состояние оборудования; – температура предварительного подогрева свариваемых деталей (если таковой предусмотрен НТД или ПТД). Операционный контроль: В процессе выполнения сварочных работ все швы - наружная часть - УГС (1 проход, а затем полностью завершённый шов - в объёме 100%) снимаются подводным видео-телекомплексом и записываются на видеоноситель.
Требования по контролю качества сварных соединений	Швы сварных соединений должны быть проконтролированы внешним осмотром с использованием подводного видео-телекомплекса на отсутствие недопустимых наружных дефектов на поверхности шва и прилегающей к нему зоне основного металла шириной не менее 20 мм на каждую сторону от шва. Приёмку качества поверхности соединений осуществляет руководитель сварочных работ и представители АО «ПО «Севмаш». По результатам визуального контроля выполненные сварные соединения считаются годными, если в них не обнаружены дефекты.

Продолжение таблицы 6

1	2
Требования по контролю качества сварных соединений	К недопустимым наружным дефектам относятся: – трещины в шве и околошовной зоне, непровары, прожоги, свищи, наплывы, скопления пор и включений; – незаваренные кратеры и пятна коротких замыканий на поверхности окончательно выполненного шва и поверхности основного металла; – скопление пор, шлаковых включений любых размеров; – подрезы основного металла – глубиной более 0.3 мм, максимальная длина единичного подреза не должна превышать 2.5 мм, при этом суммарная протяжённость подрезов не должна превышать 10% длины шва; – западания между валиками, а также между швом и основным металлом (неплавность перехода шва к основному металлу), превышающие 1.5 мм на базе 12 мм; – зашлаковки между валиками, между швом и основным металлом.
Приёмочный контроль	Результаты внешнего контроля каждого прохода и выполненных сварных соединений заносятся руководителем сварочных работ в журнал послойного контроля. В случае обнаружения недопустимых дефектов производится их исправление по указаниям руководителя сварочных работ, в соответствии с РД 5.1078-76, с отражением местоположения исправленных дефектов в журнале послойного контроля.
Требования к квалификации водолазов-сварщиков	К выполнению механизированной сварки под водой при работе на УГС допускаются водолазы сварщики не ниже 2 класса I-II группы специализации. Документ, подтверждающий квалификацию водолаза – личная книжка водолаза, единая для водолазов всех министерств и ведомств. Личная книжка водолаза выдаётся по месту получения первоначальной водолазной подготовки, после присвоения исполнителю водолазной квалификации. Также в личной книжке указывается: – установленная глубина погружения; – состояние здоровья и количество часов пребывания под водой; – характер выполнявшихся исполнителем водолазных работ. Протокол заседания ежегодной водолазной квалификационной комиссии по проверке теоретических знаний и практических навыков водолаза. Свидетельство РМРС о допуске сварщика.

2.10 Результаты решения поставленных задач.

Первая задача – это поиск принципиального решения и разработка технологии стыковки суперблоков кессона на плаву с применением устройств герметизации стыка.

В процессе была разработана технология выполнения работ, которая «включает в себя:

- зачистку наружной поверхности свариваемых элементов;
- установку струбцин и обжатие свариваемых деталей УГС на всю длину конструкции;
- прихватку деталей УГС (шов длиной ≤ 100 мм) через каждые 200–300 мм;
- зачистку прихваток и их контроль внешним осмотром на наличие дефектов;
- демонтаж струбцин и стопроцентный контроль качества сборки с помощью подводного видеотелекомплекса с записью на видеоносителях;
- сварка корневого шва с зачисткой от шлака и стопроцентным контролем качества сварки внешним осмотром на отсутствие недопустимых наружных дефектов с помощью подводного видеотелекомплекса с записью результатов на видеоносителях;
- сварка второго и третьего слоя с зачисткой и стопроцентным контролем качества сварки внешним осмотром всего соединения в целом на отсутствие недопустимых наружных дефектов с помощью подводного видеотелекомплекса с записью результатов на видеоносителях».

Вторая задача – это улучшение механических характеристик сварных швов.

В результате к работе допускаются водолазы-сварщики, имеющие квалификацию не ниже 2 класса I–II группы специализации, прошедшие соответствующую подготовку и сдавшие практические экзамены по сварке в вертикальном и потолочном положениях на территории АО «ПО «Севмаш».

Ежедневно перед началом выполнения сварочных работ сварщик должен осуществлять сварку пробного образца длиной не менее 100 мм. При этом с подтверждением правильности настройки режима и оценки качества формирования металла шва. Один раз в неделю сваренные пробы должны проходить механические испытания на излом.

Третья задача – это разработка технологии контроля качества сварных швов.

Технология контроля качества заключалась в следующем: камера находилась на голове у водолаза-сварщика и постоянно осуществлялась связь с командой наверху. Если в процессе сварки был виден зазор или большой расхождение, то специалисты сразу принимали решение о его устранении.

Четвёртая задача - совершенствование процесса подводной сварки.

Разработанная технология очень перспективна. Это уникальный проект, не имеющий аналогов в постсоветском пространстве. По этой технологии можно в море собирать целые поля из блоков.

3 Оценочный блок

3.1 Безопасность и экологичность механизированная подводной сварки устройства герметизации стыка

На территории АО «ПО «Севмаш» в акватории набережной № 3 были организованы работы по строительству кессона морской ледостойкой платформы. Стыковка суперблоков кессона осуществлялась на плаву с применением устройств герметизации стыка: УГС – оснастки, служащей для изоляции монтажных кромок полотен днища и бортов кессона от воды и предназначенной для обеспечения приемлемых условий труда производственного персонала в процессе работ ниже ватерлинии. При проведении сварочных работ под водой оказывалось воздействие на окружающую природную среду. В связи с этим работниками предприятия был выполнен расчёт выбросов загрязняющих веществ при сварке углеродистой стали (материал УГС – углеродистая сталь РСА по ГОСТ 5521) – в соответствии с «Материалами инвентаризации источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу» № 60.71-1.12.300, на основании удельных показателей выделения загрязняющих веществ по Методике Государственного комитета РФ по охране окружающей среды № 158 от 14.04.97. После рассмотрения представленных результатов было принято решение признать удовлетворяющим требованиям нормативной природоохранной документации – в части минимальной интенсивности выбросов вредных веществ, содержание которых, в процессе выполнения работ - не превышает нормативов ПДВ (предельно-допустимых выбросов).

Для обеспечения техники безопасности и обеспечения требуемого уровня при выполнении водолазных работ разработаны инструкции по охране труда персонала, привлекаемого к выполнению указанных работ.

Руководящие нормативные документы:

– РД31.84.01-90 «Единые правила безопасности труда на водолазных работах (Правила водолазной службы)».

– РД31.84.01-90 «Единые правила безопасности труда на водолазных работах (Медицинское обеспечение водолазов)».

3.2 Экономический раздел

Для того, что рассчитать экономическую эффективность, необходимо сравнить 2 технологии. Первый вариант – это себестоимость при использовании технологии подводной мокрой сварки самозащитной порошковой проволокой (таблица 7).

Таблица 7 – Фактическая продолжительность выполнения сборочно-сварочных работ по формированию соединения УГС

Район работ по сварке УГС	Период работ (в соответствии с Актами приёмки работ)	Продолжительность сварочных работ	
		Наружный шов	Внутренний шов
СБ2+СБ3	26 ноября ÷ 23 декабря	20 дней	8 дней
(СБ2+СБ3)+СБ4	25 июня ÷ 11 июля	14 дней	4 дня
(СБ2+СБ3+СБ4)+СБ1	27 июля ÷ 13 августа	14 дней	4 дня

1 Сварка наружного (подводного) соединения УГС выполнялась 3 водолазами участками в направлении от середины УГС к бортовым оконечностям.

За каждым участком закреплён водолаз – сборщик-прихватчик, выполняющий установку:

- прихваток длиной 100 мм с шагом 300 мм;
- трубцин, при необходимости обеспечения соблюдения зазора под сварку.

2 Средняя скорость выполнения сварного соединения одним водолазом-сварщиком (трехпроходное нахлесточное соединение):

5 метров за 8 часов работы* под водой

* Скорость формирования соединения зависит от условий сварки:

– состояния сборки узла в соответствии с чертежом (отсутствуют завышенные зазоры, соблюдена геометрия воротников);

– скорости течения в районе сварки не превышает 0,5 м/с.

При условии выполняемости данных условий на протяжении всего времени выполнения работ – удельная скорость формирования соединения выше указанной (таблица 8).

Таблица 8 – Калькуляция себестоимости сварочных работ

Наименование статей затрат	Количество	Сумма, руб.
Сырье и материалы: Самозащитная порошковая проволока ППС-ЭК1 диаметром 1,6-1,4 мм.	144 080 м × 3 прохода × 3 сварных шва × 58,5 руб.	7 585 812,00
Транспортно-заготовительные расходы (3% ТЗР по материалам)	7 585 812,00 × 0,03	227 574,36
Прочие специальные расходы: Затраты на электроэнергию	0,600 × 512 н/ч × 6,57 руб.	2 018,30
Трудоёмкость работ: Основная заработная плата	512 н/ч × 458,65 руб.	234 828,80
Трудоёмкость работ: Дополнительная заработная плата (28,46% от ОЗП)	234 828,80 × 0,2846	66 832,28
Отчисления во внебюджетные фонды: Основной тариф (32,8 %)	(234 828,80 + 66 832,28) × 0,328	256 749,79
Производственная себестоимость		8 373 815,53

Второй вариант – это расчёт производственной себестоимости подводной сухой сварки (таблица 9).

Таблица 9 – Стоимость работ подводной электросварки внахлёстку, толщина стали свыше 6 до 8 мм за 1 метр

Наименование	Ед. изм.	Количество	Сметная стоимость, руб	ОЗП, руб.
Агрегаты сварочные электрические передвижные для подводной сварки и резки металлов	маш.-ч.	1,5	100,46	91,70
Буксиры, мощность 110 кВт	маш.-ч.	0,27	71,14	18,17
Плавучие площадки сборно-разборные, грузоподъемность 29 т	маш.-ч.	1,5	244,68	-
Водолазные станции на самоходном боте мощностью 110 кВт с компрессором	маш.-ч.	1,33	340,97	114,03
Электроды сварочные ЭПС-5, диаметр 5 мм	т	0,004	223,90	-
Итого прямые затраты			981,15	223,90
Накладные расходы 108 % * ФОТ			155,28	
Сметная прибыль 55 % * ФОТ			79,08	
ВСЕГО			1215,51	

Стоимость работ «Подводная электросварка: внахлёстку, толщина стали свыше 6 до 8 мм» за метр шва составляет 1 215,51 руб. без НДС. Умножим стоимость шва на 144 080 метра, получим 175 130 680,80 руб.

Экономическая эффективность = $175\,130\,680,80 - 8\,373\,815,53 = 166\,756\,865,27$ руб. = 166 756, 9 тыс. руб.

Исходя их расчётов, сделаем вывод, что выбранный метод подводной сварки является наиболее выходным и целесообразным.

Заключение

В ходе исследования мною было прочитано большое количество статей из научных журналов библиотеки АО «ПО «Севмаш» на тему «сварка под водой».

В бакалаврской работе было изучено устройство герметизации стыка, наблюдала серию опытных работ по подводной сварке с использованием различных сварочных материалов, режимов сварки и вариантов разделки кромок.

В процессе опытных работ были определены:

- оптимальная форма подготовки кромок под сварку;
- сварочные материалы;
- оптимальные режимы сварки, обеспечивающие стабильность процесса сварки и формирования сварного шва;
- техника и последовательность сварки - раскладка валиков с поперечными колебаниями.

Итогом выполненных исследований явилась разработка технологии механизированной подводной сварки герметизирующего устройства суперблоков.

Изучив данную тему, делаю выводы, что разработка и применение современных сварочных материалов, которые обеспечивают получение качественных сварных соединений, существование технологических процессов подводной сварки и технология контроля качества сварных швов в настоящее время влияют на развитие судостроения и судоремонта в нефтяной и газовой отрасли.

В связи с тем, что данная технология может применяться в экстремально тяжелых климатических условиях, то в дальнейшем её применение может послужить стремительному развитию и освоению Арктики.

Список используемой литературы

1. Воропаев А.О. Исследование влияния состава шихты порошковой проволоки для подводной сварки на параметры наплавленного валика / А.О. Воропаев, А.И. Куракин, М.В. Воропаева, В.В. Мурзин // Морские интеллектуальные технологии: Научно-технический журнал. – 2017. № 4. – с. 11-15.
2. Вострецов Г.Н. Развитие технологий подводной сварки для обеспечения качества подводно-технических работ и безопасности водолазов / Вострецов Г.Н., Левченко А.М., Паршин С.Г., Новожилов А.В., Лабкович Л.Г., Степанов Э.А. // Гидротехника: Научно-практическая статья. - 2022. № 1 (66). - с. 38-44.
3. ГОСТ 19903-2015. Межгосударственный стандарт на листовой горячекатаный прокат. Дата введения 1.09.2016.
4. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твёрдости по Виккерсу. Дата введения 01.07.1976.
5. ГОСТ 5264-80. Межгосударственный стандарт ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Дата введения 01.07.1981.
6. ГОСТ 5521-93. Прокат стальной для судостроения. Технические условия. Дата введения 01.01.1996.
7. Ломакин Н.Н. Квалификация водолазов-сварщиков – важнейшее условие обеспечения качества и безопасности подводно-технических работ / Ломакин Н.Н. // Гидротехника: Научно-технический журнал. – 2020. № 58. – с. 46-50.
8. Мурзин В.В. Исследование влияния режима подводной сварки на газообразование / В.В. Мурзин, К.М. Сое, В.М. Карпов // Морские интеллектуальные технологии: Научно-технический журнал. – 2019. № 3. – с. 111-115.

9. Никулин В.Е. Исследование остаточных сварочных напряжений при подводной сварке высокопрочной стали / Никулин В.Е., Паршин С.Г., Левченко А.М., Вострецов Г.Н., Репин И.Л. // Современные материалы и передовые производственные технологии (СМПТТ-2021). Сборник тезисов Международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2021. С. 82-85.

10. Никулин В.Е. Исследование остаточных сварочных напряжений при подводной мокрой сварке низколегированной стали с применением магнитоанизотропного и гентгенодифрактометрического метода / Никулин В.Е., Паршин С.Г., Левченко А.М. // Оптические методы: Научно-технический журнал. – 2021. № 8. - с. 37-50.

11. Никулина А.А. Структура и свойства сварных валиков, сформированных в подводном состоянии порошковой проволокой / А.А. Никулина // Материаловедение. Обработка металлов: Научно-технический журнал. – 2011. № 1. – с. 31-37.

12. Паршин С.Г. Исследование сварочно-технологических свойств покрытых электродов с фторидно-перовскитным покрытием для подводной мокрой сварки / Паршин С.Г., Гао Ю., Коротеев А.О. // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. Материалы Международной научно-технической конференции. Могилев, 2024. С. 168-169.

13. Паршин С.Г. Покрытый электрод для подводной мокрой сварки / Паршин С.Г., Гао Ю. // Патент на изобретение RU 2825112 C1, 20.08.2024. Заявка от 14.07.2023.

14. Паршин С.Г. Редкоземельная аустенитная порошковая проволока для подводной мокрой сварки высокопрочных сталей / Паршин С.Г., Никулин В.Е., Антипов И.С., Левченко А.М. // Патент на изобретение RU 2792266 C1, 21.03.2023. Заявка № 2022122820 от 24.08.2022.

15. Паршин С.Г. Способ подводной мокрой сварки и резки с порошковой проволокой и флюсовой лентой / Паршин С.Г., Ван П. // Патент

на изобретение RU 2771341 C1, 29.04.2022. Заявка № 2021117163 от 11.06.2021.

16. Паршин С.Г. Технологии и сварочные материалы для ремонта подводных газопроводов / Паршин С.Г., Левченко А.М., Майстро А.С., Севостьянов С.П., Копылов Д.А., Рамусь Р.О. // Состояние и основные направления развития сварочного производства ПАО "ГАЗПРОМ". Тезисы докладов. VIII Отраслевое совещание. Москва, 2016. с. 27.

17. Паршин С.Г. Технологии подводной мокрой сарки судостроительной стали с регулируемой скоростью охлаждения / Паршин С.Г., Гао Ю., Никулин В. Е., Левченко А.М. Иванова И. В. //Целостность и ресурсы в экстремальных условиях: Научно-технический журнал - 2024. № 1. – с. 105 -106.

18. Паршин С.Г. Экзотермическая порошковая проволока для подводной мокрой резки нержавеющей сталей / Паршин С.Г., Антипов И.С., Левченко А.М. // Патент на изобретение RU 2792264 C1, 21.03.2023. Заявка № 2022122822 от 24.08.2022.

19. Патон Б.Е. Совершенствование оборудования для подводной механизированной сварки и резки порошковой проволоки / Б.Е. Патон, В.А. Лебедев, С.Ю. Максимов, С.И. Плосков // Сварка и Диагностика: Научно-технический журнал. – 2011. № 5. – с. 54-59.

20. Ющенко К.А. Новое поколение полуавтоматов для подводной механизированной сварки и резки / К.А. Ющенко, В.А. Лебедев, С.Ю. Максимов, В.Г. Пичак // Сварка и Диагностика: Научно-технический журнал. – 2009. № 4. – с. 31-36.

21. <https://neptunworld.com/2014/04/platforma-prirazlomnaya-ili-chudesa-podvodnoj-svarki/> Журнал о подводном мире «Нептун XXI век» № 5 2020.