

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

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

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс и оборудование
для монтажа резервуаров вертикальных стальных
(РВС) объемом 5000 м³

Студент

Т.Р. Дулкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

Аннотация

Строительство резервуарного парка для хранения нефти и нефтепродуктов предусматривает применение сварочных технологий, которые занимают основное место в технологии возведения резервуаров. Повышение производительности сварочных работ достигается при использовании механизированных и автоматических способов сварки.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки при монтаже вертикальных стальных резервуаров на примере резервуара объёмом 5000 м³.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- обоснование выбора способа сварки (частичная замена ручной сварки на механизированную и механизированной сварки на автоматическую);
- повышение эффективности выбранных способов сварки применительно к рассматриваемому резервуару, выбор сварочного оборудования, материалов и оптимальных параметров режима сварки;
- составление проектного технологического процесса с учётом ранее найденных технических решений.

Анализ возможных способов сварки позволил обосновать выбор сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах (механизированной и автоматической) при построении проектной технологии сварки. Была составлена проектная технология сварки вертикального резервуара, назначены параметры режима сварки и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,29 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 1 год.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние сварки вертикальных стальных резервуаров. . .	7
1.1 Описание изделия и условий его работы.	7
1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара.	10
1.3 Анализ методов производства и возведения вертикальных стальных резервуаров.	11
1.5 Базовая технология сборки и сварки резервуара.	15
1.4 Критический анализ базовой технологии и формулировка задач выпускной квалификационной работы.	19
2 Проектная технология сборки и сварки вертикального резервуара. . .	21
2.1 Обоснование выбора способа сварки при строительстве резервуара.	21
2.2 Общие требования к операциям технологического процесса сварки вертикального резервуара.	25
2.3 Описание сварочных материалов.	27
2.4 Особенности технологии сварки вертикального резервуара.	28
2.6 Контроль качества при изготовлении вертикального резервуара.	35
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	40
3.1 Технологическая характеристика объекта.	40
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	42
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.	44
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	45
3.5 Обеспечение экологической безопасности.	47
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии.	50
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки	

предлагаемых технических решений	50
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	53
4.3 Расчет штучного времени	54
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	56
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	60
4.6 Показатели экономической эффективности.	62
Заключение	66
Список используемой литературы и используемых источников.	68

Введение

Строительство резервуарного парка для хранения нефти и нефтепродуктов предусматривает применение сварочных технологий, которые занимают основное место в технологии возведения резервуаров. Повышение производительности сварочных работ достигается при использовании механизированных и автоматических способов сварки. Нормативная документация по строительству вертикальных стальных резервуаров [10] особо указывает на необходимость применения автоматической сварки под флюсом, механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах и самозащитной проволокой. Однако применение ручной дуговой сварки декларативно не запрещено и допускается при изготовлении резервуаров «небольшого объема». На основании этого, при монтаже резервуаров объемом до 5000 м³ включительно широко применяется ручная дуговая сварка.

Низкий уровень механизации сборочно-сварочных операций существенно снижает производительность труда и вызывает дополнительные затраты на обеспечение качества продукции. Необходимость получения конкурентных преимуществ заставляет повышать стабильность качества и производительность сварочных работ при одновременном снижении их стоимости. В настоящее время мировой производитель металлических конструкций повсеместно отказывается от ручной дуговой сварки в пользу более производительных способов сварки – механизированной сварки в защитных газах порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения, механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой и автоматической сварки под флюсом. Эта тенденция прослеживается и по представленному на рынке сварочному оборудованию и сварочным материалам – доля покрытых электродов на мировом рынке сварочных материалов неуклонно снижается [3], [4], [14].

Вертикальные стальные резервуары могут быть признаны важнейшим элементом нефтяной отрасли, без которого функционирование ресурсодобывающей отрасли было бы невозможным. При этом следует отметить высокие требования по безопасности, которые предъявляются к конструкции резервуаров, аварийное разрушение которых приводит к тяжелейшим экологическим последствиям [15], [2].

Несмотря на существенные затраты сил и средств для повышения безопасности эксплуатации резервуарного парка Российской Федерации возникают случаи крупных аварий на резервуарах для хранения нефти, которые сопровождаются розливом нефти и человеческими жертвами [1], [2], [12].

В настоящий момент технология возведения стальных вертикальных резервуаров обладает очень низким уровнем механизации при выполнении операций сборки и сварки. Это приводит к малой производительности выполняемых работ и снижает их качество. Показанные проблемы усугубляется тяжёлыми условиями, в которых приходится работать сварщикам при монтаже резервуара. Таким образом, решение проблемы повышения конкурентоспособности предприятия, занимающегося возведением стальных резервуаров, лежит в плоскости повышения производительности и качества сварки при снижении себестоимости выполнения работ. Это возможно при условии применения современных достижений в области управления процессами дуговой сварки, внедрения перспективных методик контроля и высокопроизводительных способов сварки, позволяющих выполнять сварку на форсированных режимах без ухудшения, а зачастую, с повышением качества сварных соединений.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки при монтаже вертикальных стальных резервуаров на примере резервуара объёмом 5000 м³.

1 Современное состояние сварки вертикальных стальных резервуаров

1.1 Описание изделия и условий его работы

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается сварка при монтаже резервуара РВС-5000, внешний вид которого представлен на рисунке 1. Резервуар имеет полезный объём 5000 м³. Резервуар выполнен в виде вертикальной цилиндрической ёмкости, которую устанавливают на кольцевом железобетонном фундаменте. Вертикальные резервуары объёмом 5000 м³ в количестве 8 штук будут монтироваться на территории Сузунского нефтегазового месторождения, запасы нефти которого оцениваются в настоящее время в объёме 56 млн. тонн.

Сузунское месторождение было открыто в 1972 году, однако до недавнего времени оно должным образом не разрабатывалось. Полномасштабные разработки запланировано начать в 2022 году, при этом перекачку нефти планируется вести по нефтепроводу «Ямал».

Согласно ГОСТ 27751-88 рассматриваемый резервуар относится к I (повышенному) уровню ответственности.



Рисунок 1 – Резервуар РВС-5000 для хранения нефти

Вертикальный стальной резервуар, представленный на рисунке 2, является наземным объёмным строительным сооружением и представляет собой вертикально установленную ёмкость. Назначение резервуара – приём, хранение, подготовка и учёт нефтепродуктов и различных химикатов.

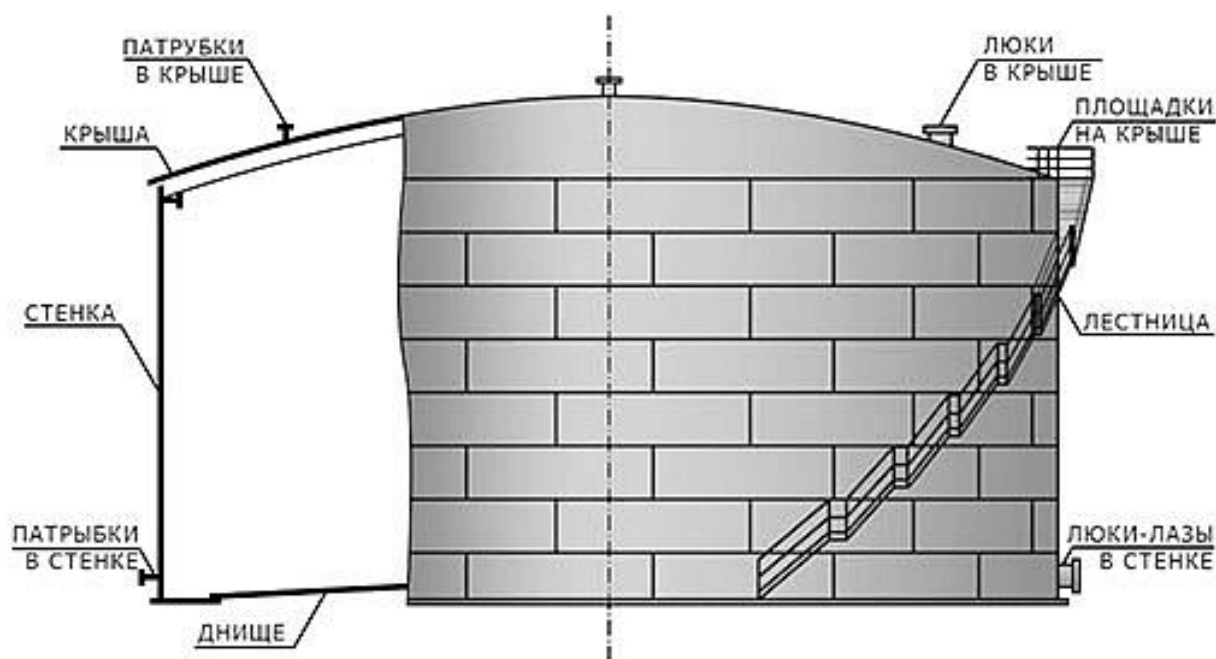
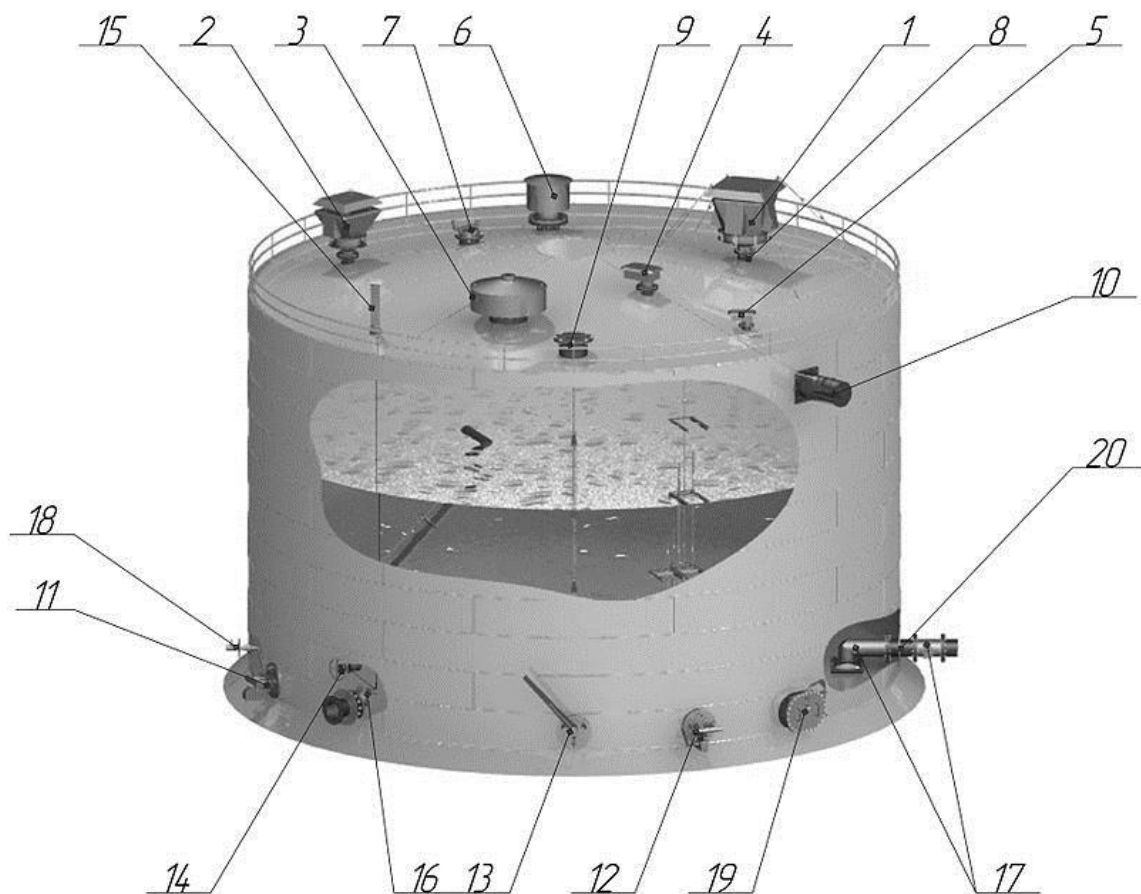


Рисунок 2 – Устройство вертикального стального резервуара

Вертикальный стальной резервуар оснащается различным вспомогательным оборудованием, представленным на рисунке 3. В первую очередь, это - дыхательная арматура, назначение которой – выравнивание давления внутри резервуара с давлением окружающей среды в процессе откачивания нефти из резервуара или закачивания в него нефти. Кроме этого, в состав оборудования резервуара входят приёмно-отпускные устройства и устройства размыва донных отложений. В состав оборудования резервуара входит также приёмно-отпускное устройство, которое включает в себя приёмно-отпускной патрубков, хлопушку с механизмом управления, перепускное устройство и подводный трубопровод.



1, 2, 4 и 5 – дыхательные клапаны; 3 – аварийный клапан; 6 – вентиляционный патрубок;
 7, 8 и 9 – люки замерный, монтажный и световой; 10 – генератор пены;
 11, 12 и 13 – пробоотборники плавающий и стационарные; 14 и 15 – механизмы
 управления хлопушкой; 16 – хлопушка; 17 – приёмно-раздаточное устройство; 18 – кран
 сифонный; 19 – люк-лаз; 20 – патрубок приёмораздаточный

Рисунок 3 – Вспомогательное оборудование вертикального
 стального резервуара

На крышах резервуаров размещают световые и технологические люки, которые используются для выполнения измерения уровня и технического обслуживания резервуаров. Также на резервуаре монтируют аварийный клапан, который сбрасывает избыточное давление при интенсивном нагреве содержимого резервуара, и сифонный кран для сброса отстоявшейся воды со дна резервуара.

1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара

Для изготовления корпуса резервуара применяется сталь 09Г2С. Для изготовления лестницы и ограждения – сталь Ст3.

Сталь 09Г2С – конструкционная низколегированная сталь, химический состав приведён в таблице 1, и механические свойства – в таблице 2. Свойства стали 09Г2С обусловили её широкое применение при изготовлении металлических конструкций. Сварные конструкции из стали 09Г2С могут продолжительное время работать под давлением при температуре окружающего воздуха от -70 до + 425 °С. Заменителями стали 09Г2С могут считаться такие стали, как 09Г2, 09Г2Т, 09Г2ДТ и 10Г2С.

Таблица 1 –Химический состав стали 09Г2С
в соответствии с ГОСТ 2591-2006

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As	Fe
до 0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	До 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,008	~96- 97

Таблица 2 – Механические свойства стали 09Г2С в соответствии с ГОСТ 19282-73

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
460	300	31

Сталь 09Г2С сваривается без ограничений всеми способами сварки. Реакция стали 09Г2С на термический цикл при сварке, отличающаяся от реакции обычной низкоуглеродистой стали [22]. При сварке металлических конструкций из стали 09Г2С возможно измельчение структуры в зоне термического влияния сварного шва и повышение твёрдости металла. Вероятность получения закалочных структур при сварке изделий из стали 09Г2С повышается, если превышена критическая скорость охлаждения металла [5], [18].

Действенным средством против образования закалочных структур при сварке стали 09Г2С является предварительный подогрев, который

способствует перлитному превращению. Путём изменения скорости охлаждения становится возможным получение желаемой твёрдости металла в зоне термического влияния. Однако следует учитывать, что при сварке резервуаров введение предварительного подогрева технически трудно осуществимо [17].

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями, сварные конструкции из стали 09Г2С имеют меньшую стойкость против кристаллизационных трещин. Это объясняется действием углерода, марганца и кремния. Повышение стойкости против кристаллизационных трещин достигается уменьшением в металле шва серы и углерода. Для этого необходимо применять сварочную проволоку со сниженным содержанием серы и углерода. Определяющее значение в повышении прочности сварных соединений из стали 09Г2С имеет рациональная последовательность выполнения сварных швов, обеспечение правильности его геометрии [6].

Легирование металла сварного шва химическими элементами из основного металла позволяет получить равнопрочность шва и основного металла. Также, склонность к хрупкому разрушению и прочность металла шва может быть повышена легированием элементами из сварочной проволоки [13].

Такие химические элементы, как кремний и марганец, увеличивают содержание закалочных структур. Исходя из этого, при сварке конструкций из стали 09Г2С необходимо назначать режимы с меньшей, по сравнению с низкоуглеродистой сталью, погонной энергией.

1.3 Анализ методов производства и возведения вертикальных стальных резервуаров

Строительство стальных вертикальных резервуаров может выполняться по различным схемам, применение которых определяется

возможностью конкретного исполнителя, выполняющего работы по возведению резервуара.

Первым методом является метод наращивания поясов, или «полистовой» метод, представленный на рисунке 4. Этот метод заключается в наращивании поясов резервуара путём монтажа отдельных листов, которые предварительно были отвальцованы для придания необходимого изгиба. Этот метод является наиболее простым и универсальным, позволяет возводить резервуары любого объёма.



Рисунок 4 – Возведение резервуара методом наращивания

Первым преимуществом полистового метода является простота доставки, уменьшается количество единиц подвижного состава, необходимое для доставки элементов резервуара. Кроме того, расширяются возможности использования автотранспорта, нет необходимости применения морского (речного) и железнодорожного транспорта.

Вторым преимуществом является малая площадь, которая требуется для возведения резервуара, что может быть использовано в стеснённых условиях. Особенно это актуально при возведении резервуаров в условиях перевооружения и реконструкции существующих объектов.

Третьим преимуществом является отсутствие необходимости специальной подготовки площадки для маневрирования бульдозеров.

Четвёртым преимуществом полистовой сборки является возможность возведения резервуара без привлечения кранов большой грузоподъёмности, что значительно упрощает работу на удалённых объектах. Кроме того, отсутствует необходимость переброски рулона стенки через уже имеющиеся на объекте сооружения.

В числе недостатков этого метода следует указать малую производительность возведения резервуара, что связано с необходимостью выполнять всю сварку на строительной площадке. Это существенно повышает стоимость работ и увеличивает сроки возведения резервуара. Кроме того, монтаж листов выполняется на высоте, что также усложняет возведение резервуара. Ещё одним существенным недостатком является существенное увеличение количества сварных соединений, для которых необходимо выполнять контроль качества.

Вторым методом является метод подращивания поясов, представленный на рисунке 5. При возведении резервуара методом подращивания все слои резервуара подготавливаются на земле заранее. Сначала монтируют и сваривают днище резервуара. Потом сваривают верхний пояс резервуара, опорное кольцо и крушу резервуара. После этого при помощи специальных домкратов поднимают верхний пояс и крышу, потом выполняют монтаж и сварку второго пояса. Далее поднимают Два сваренных пояса и крышу, выполняют монтаж и сварку следующего пояса. Таким образом, выполняется последовательная сварка поясов резервуара начиная в верхнего и заканчивая нижним.

Метод подращивания имеет ряд преимуществ. Первым преимуществом является то, что все сварочные операции выполняются на земле, что повышает их качество. Кроме этого, упрощается доступ к сварным швам при контроле качества. Также не требуется возведения строительных листов. Вторым преимуществом является то, что большая часть сварных соединений

выполняется на строительной площадке под возведённой крышей, что положительно сказывается на качестве сварных швов. Третьим преимуществом является высокая точность изготовления резервуара. Четвёртым преимуществом является отсутствие необходимости использования грузоподъёмной техники, вместо которой используются гидравлические домкраты.



Рисунок 5 – Возведение резервуара методом подрачивания

Главным недостатком метода подрачивания является самая низкая производительность метода из-за того, что необходимо обеспечивать устойчивость резервуара в процессе монтажа.

Третьим методом является метод рулонирования, представленный на рисунке 6. При осуществлении этого метода выполняют сварку полотна стенки и полотна днища на заводе-изготовителе. После этого полотно стенки и полотно днища сворачивают в рулоны. Доставку рулонов стенки и днища осуществляют специальным подвижным составом. На строительной площадке рулон стенки устанавливают вертикально на днище, разворачивают и приваривают.

Главным преимуществом рулонного метода является высокая скорость возведения резервуара, так как большая часть сварных швов уже выполнена на заводе-изготовителе. Вторым преимуществом является высокое качество сварных швов, которые были выполнены в заводских условиях

автоматической сваркой под флюсом и проверены с применением необходимых методов контроля качества.



Рисунок 6 – Возведение резервуара рулонным методом

Метод рулонирования имеет и ряд недостатков. Первым недостатком являются серьёзные требования, предъявляемые к заводу-изготовителю, так как не все предприятия имеют возможность изготавливать сварные рулоны из стальных листов. Вторым недостатком является необходимость применения специального подвижного состава для доставки рулонов на строительную площадку. Третьим недостатком является необходимость проведения дорогостоящих работ по подготовке строительной площадки для работы на ней специальной строительной техники. Необходимость же применения специальной строительной техники является четвёртым недостатком. Пятым недостатком является необходимость организации строительной площадки большой площади, что может быть трудноосуществимо в стеснённых условиях при реконструкции существующих объектов.

1.4 Базовая технология сборки и сварки резервуара

Рассматриваемый резервуар изготавливается методом полистовой сборки. При этом для выполнения погрузочных работ применяется

гусеничный кран LIEBHERR LTR 1100 с грузоподъёмностью 100 тонн и автокран LIEBHERR с грузоподъёмностью 25 тонн.

Сборочные и сварочные работы при строительстве резервуара выполняются методом наращивания стенки и предполагают выполнение последовательности действий, которая приведена ниже.

Сначала готовят основание резервуара, закрепляют на нём центр и выполняют разметку осей резервуара.

После этого выполняют укладку окраек в проектное положение. Для контроля правильности укладки окрайки применяют разметочное приспособление, которое закрепляют в центре основания. Поскольку диаметр резервуара не превышает 35 метров, при укладке окраек нет необходимости учёта возможной усадки кольца окраек после сварки.

Далее выполняют сборку стыков окраек днища. При выполнении сборки применяют монтажное приспособление (гребенки). После выполнения сборки кольца окраек необходимо выполнить проверку:

- в стыках окрайки не допускается наличие изломов;
- при сборке окраек прогибы и выпуклости не допускаются;
- кольцо окрайки следует проверить на горизонтальность;
- при сборке кольца окрайки проверяют зазоры в стыках, величина которых должна соответствовать проектной.

После сборки кольца окраек выполняют сварку радиальных стыков окрайки. При этом стык заваривается не полностью, а на участке опирания будущей стенки резервуара на кольцо окраек. Длина выполняемого сварного шва составляет 200...250 мм. После выполнения сварного шва следует провести проверку качества радиографическим методом.

После этого выполняют разметку окрайки, по которой будет монтироваться стенка резервуара. При этом разметку следует выполнять с учётом возможной усадки после сварки уторного шва.

Далее выполняют укладку листов центральной части днища резервуара. При этом укладка выполняется полосами, которые начинают

укладывать от центра резервуара к его периферии. При укладке листов в полосе сначала укладывают средний лист, потом крайние. При сборке листов применяются монтажные приспособления (клинья и гребенки), сборку осуществляют на прихватках. При укладке листов в полосе следует учитывать усадку после сварки, для чего длину крайних листов необходимо увеличить на 20...30 мм. Центральную часть днища сваривают после сборки и прихватки всех листов.

После сварки днища резервуара приступают к монтажу стенки. Обрезку замыкающего листа каждого пояса следует выполнять по месту. При этом перед монтажом каждого листа проверяют радиус гибки и правильность разделки кромок. С учётом того, что первый пояс является основой, на которой монтируются все остальные пояса резервуара, следует уделить особое внимание качеству его выполнения. Вертикальные стыки первого пояса сваривают на высоту 150...250 мм от окрайки днища.

Далее выполняют сварку уторного шва по сопряжению окрайки днища и стенки резервуара. Уторный шов сваривается одновременно двумя сварщиками в одном направлении с противоположных сторон.

После сварки уторного шва выполняют сварку оставшихся частей радиальных стыков окрайки.

Далее выполняют сварку стыков крайних листов. При этом сварной шов выполняется по длине, превышающей на 150...200 мм нахлест центральной части днища на окрайку.

Далее одновременно двумя сварщиками выполняется сварка кольцевого нахлесточного шва окрайки и центральной части днища. Сварку ведут в одном направлении на противоположных сторонах.

Далее доваривают оставшуюся часть стыков крайних листов центральной части днища.

После этого выполняют монтаж и сварку оставшихся поясов стенки резервуара. При помощи приспособлений листы второго пояса стенки закрепляют на листах первого пояса. После этого выполняют доварку

вертикальных швов пегового пояса. Далее выполняют монтаж и закрепление при помощи приспособлений листов третьего пояса стенки, сварку вертикальных швов второго пояса стенки и сварку горизонтального шва между первым и вторым поясами стенки. Монтаж и сварку последующих поясов выполняют аналогично описанному выше.

Такая последовательность операций позволяет свести к минимуму напряжения и деформации при сварке конструкции. При этом следует обратить внимание, что последовательность выполнения сварных швов такова, что горизонтальный шов между поясами сваривается только после выполнения примыкающих к нему сверху и снизу швов.

Базовый вариант технологии предусматривает применение механизированной сварки в среде защитного газа и ручной электродуговой сварки штучными электродами.

При механизированной сварке применяется сварочный полуавтомат ПДГ-508 и сварочная установка УСТ-22 на базе гусеничного трактора ДТ-75. В качестве сварочной проволоки применяется проволока Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа применяется углекислый газ. При сварке применяется постоянный ток обратной полярности. Расход углекислого газа принимают в зависимости от скорости ветра: 10...20 л/мин при ветре 0...2 м/с, 25...30 л/мин при ветре 3...5 м/с.

Для ручной дуговой сварки применяется сварочная установка УСТ-22 на базе гусеничного трактора ДТ-75. В качестве сварочных электродов применяются электроды Э-50А. Сварку ведут электродами УОНИ 13/55 диаметром 3 мм и 4 мм.

Параметры режима механизированной сварки указаны в таблице 3. Параметры режима ручной дуговой сварки: диаметр электрода – 3 мм и 4 мм, сила сварочного тока для электродов диаметром 3 мм – 90...120 А, для электродов диаметром 4 мм - 130...170 А.

Перед выполнением прихваток и перед сваркой корневого слоя шва выполняют предварительный подогрев свариваемых кромок. Ширина предварительного подогрева – 50 мм в обе стороны от стыка.

Таблица 3 – Параметры режима механизированной сварки

Параметр	Пространственное положение сварного шва								
	Нижнее			Вертикальное			Горизонтальное		
Слой шва	корневой	заполняющие	облицовочный	корневой	заполняющие	облицовочный	корневой	заполняющие	облицовочный
Ток сварки, А	140-210	180-320	160-320	140-180	160-220	140-60	160-180	240-300	160-220
Напр. дуги, В	19-22	20-28	20-28	19-22	19-24	19-22	19-22	22-26	20-25
Вылет, мм	10-15								

При выполнении сварных швов, не требующих предварительного подогрева, если температура воздуха ниже +5°C, на свариваемых кромках обнаружены следы влаги и наледь, необходимо выполнить сушку кромок. Для этого свариваемые кромки нагревают до температуры 40...50 °С.

При сварке следует обеспечить температуру слоев шва не ниже 50 °С. В противном случае применяют сопутствующих подогрев.

1.5 Критический анализ базовой технологии и формулировка задач выпускной квалификационной работы

Технологический процесс изготовления резервуара по базовой технологии предусматривает ряд неблагоприятных моментов, которые не лучшим образом сказываются на эффективности изготовления конечного продукта (производительность и качество возведения резервуара).

При сварке по базовой технологии применяются два способа сварки – ручная дуговая сварки и механизированная сварка в углекислом газе.

Наиболее критической частью базовой технологии является процесс сварки горизонтальных стыков стенки резервуара при помощи механизированной сварки в среде углекислого газа. Вследствие чего сильно увеличиваются сроки строительства, и ухудшается качество сварных конструкций.

При сварке в углекислом газе присутствует сильное разбрызгивание, что приводит к большим потерям наплавленного металла и дополнительным потерям времени на зачистку шва от брызг и окалины.

В базовом технологическом процессе используется устаревшее оборудование, которое не отвечает современным требованиям предъявляемым к сварочному оборудованию.

Для выполнения работ по базовому техпроцессу требуется больше рабочих за счет отсутствия сварочно-сборочных приспособлений и оснастки что также негативным образом сказывается на экономических показателях проекта в целом.

Исходя из вышеперечисленного следует сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, решение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- обоснование выбора способа сварки (частичная замена ручной сварки на механизированную и механизированной сварки на автоматическую);
- повышение эффективности выбранных способов сварки применительно к рассматриваемому резервуару, выбор сварочного оборудования, материалов и оптимальных параметров режима сварки;
- составление проектного технологического процесса с учётом ранее найденных технических решений.

Также в оценочном блоке будут выполнены следующие работы:

- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;
- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

2 Проектная технология сборки и сварки вертикального резервуара

2.1 Обоснование выбора способа сварки при строительстве резервуара

Сварка вертикальных резервуаров может быть выполнена с применением следующих способов [10]:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- механизированная и автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов;
- механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой;
- автоматическая сварка под флюсом.

В числе преимуществ ручной дуговой сварки штучными электродами следует отметить [11]: простоту и дешевизну технологического оборудования, составление технологии сварки не требует глубоких профессиональных знаний и метрологического обеспечения.

В настоящее время доля сварных конструкций, получаемых с применением ручной дуговой сварки штучными электродами, неуклонно снижается. Это объясняется недостатками, присущими способу сварки. В первую очередь, следует отметить малую производительность выполнения сварочных работ, в настоящее время ресурс повышения скорости сварки и наплавки штучными электродами за счёт назначения оптимальных режимов и сварочных материалов полностью выработан. Вторым недостатком следует признать работу сварщика в тяжёлых условиях, которые приводят к возникновению профессиональных заболеваний и заставляют увеличивать расходы на обеспечение безопасности персонала. Третьим недостаток следует признать низкую стабильность качества сварки, которая в значительной мере зависит от профессионализма и кондиции сварщика. Четвёртым недостатком следует признать повышенный расход электродного

материала на угар и разбрызгивание, а также на огарки. Необходимость смены электродов не только приводит к увеличению расхода сварочных материалов, но и снижает производительность и качество сварочных работ.

Из-за множественных недостатков ручной дуговой сварки штучными электродами она повсеместно заменяется более производительными и перспективными способами сварки.

Из-за недостатков ручной дуговой сварки нормативная документация [10] указывает на необходимость ограничения её применения при строительстве вертикальных резервуаров и замены на более производительные механизированные и автоматические способы сварки.

Преимуществами сварки в углекислом газе и смеси защитных газов являются [7], [8]: высокая производительность сварки; улучшение условий труда сварщика по сравнению с ручной дуговой сваркой; практически полное отсутствие шлаковой корки; возможность сварки во всех пространственных положениях.

Повышению эффективности механизированной и автоматической сварки в защитных газах проволоками сплошного сечения посвящено множество исследований российских и зарубежных учёных [7], [8], [20], [21], [22]. Достигнуты значительные успехи в области повышения стабильности горения сварочной дуги, переноса электродного металла и формирования сварного шва со стабильным качеством.

Недостатками сварки в смеси защитных газов являются: ограничение мобильности сварщика из-за наличия газовых баллонов; повышенная вероятность образования трещин из-за низкой пластичности расплавленного металла; ограничение производительности сварки из-за повышенного разбрызгивания электродного металла на форсированных режимах.

Сварка самозащитными порошковыми проволоками сочетает в себе положительные свойства механизированной сварки в защитных газах и ручной дуговой сварки штучными электродами [9], [16]. В настоящее время мировым производителем сварочных материалов («Lincoln Electric»,

«Hobart», «Elga», «ESAB», «Thyssen-Böhler», «Kobelco», «S.A.F.-Oerlicon»,) предлагается значительное количество порошковых проволок, которые предназначены для использования в широкой области.

Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика.

Несмотря на преимущества сварки самозащитной порошковой проволокой, она обладает и существенными недостатками, ограничивающими область её применения. Во-первых, при сварке остаётся необходимость удаления шлаковой корки с поверхности шва. Во-вторых, высокая стоимость порошковой проволоки делает её применение в ряде случаев экономически невыгодным. В-третьих, из-за жидкотекучести шлака наблюдается сильное порообразование и возможность получения дефектов в виде пор и шлаковых включений. В-четвёртых, следует отметить необходимость борьбы с заломками сварочной проволоки из-за её излишней мягкости. В-пятых неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки приводит к образованию шлаковых включений и пор.

При сварке под флюсом в результате нагрева от горячей между изделием и проволокой сварочной дуги образуется ванна расплавленного металла, которая защищается слоем шлака (расплавленного флюса). Этот слой не только обеспечивает газовую защиту расплавленного и перегретого металла от воздействия воздуха, но и устраняет разбрызгивание, повышает эффективность нагрева металла от сварочной дуги.

При автоматической сварке под флюсом производительность возрастает в 3...6 раз по сравнению с ручной дуговой сваркой. Повышение производительности объясняется повышенным сварочным током. Также при автоматической сварке под флюсом практически полностью устраняется разбрызгивание электродного металла, что также повышает производительность сварки.

Качество сварных соединений при автоматической сварке под флюсом также существенно выше. Применение флюса значительно уменьшает вредное воздействие сварочной дуги и выделяющихся при сварке газов на сварщика, что значительно улучшает условия труда.

Дальнейшие работы по обоснованию выбора способа сварки проведём в виде экспертной оценки каждого способа на основании следующих критериев:

- производительность способа;
- манёвренность и универсальность способа сварки;
- условия труда и безопасность сварщика;
- отсутствие недопустимых дефектов;
- дороговизна и сложность эксплуатации сварочного оборудования;
- затраты на сварочные материалы.

Таблица 4 – Обоснование выбора способа сварки при строительстве вертикальных резервуаров

Критерий	Способ сварки			
	ручная дуговая сварка покрытыми электродами	механизированная и автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов	механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой	автоматическая сварка под флюсом
1 Производительность способа	1	3	2	4
2 Манёвренность и универсальность способа сварки	4	2	3	1
3 Условия труда и безопасность сварщика	1	3	2	4
4 Отсутствие недопустимых дефектов	1	3	2	4
5 Дороговизна и сложность эксплуатации сварочного оборудования	4	2	3	1
6 Затраты на сварочные материалы	2	4	1	3
ИТОГО:	14	17	13	17

На основании данных таблицы 4 можно заключить, что самую высокую экспертную получили два способа сварки. Первый способ - сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смеси защитных газов. Второй способ – автоматическая сварка под флюсом. Но с учётом того, что универсальность сварки в защитных газах существенно выше сварки под флюсом, в качестве основного способа для построения проектной технологии применим сварку проволокой сплошного сечения в защитных газах.

2.2 Общие требования к операциям технологического процесса сварки вертикального резервуара

При сборке и сварке каждого конструктивного элемента резервуара должны быть выполнены мероприятия, направленные на снижение сварочных деформаций и получение требуемой геометрической формы конструкции.

Запрещается зажигать дугу на основном металле вне разделки кромок или вне зоны расположения сварного шва.

Сварку следует выполнять при стабильном режиме. Предельные отклонения заданных значений силы сварочного тока не должны превышать 10%, а напряжения дуги 5%. Оборудование для сварки следует подключать к отдельному фидеру. Колебания напряжения питающей сети, к которой подключено сварочное оборудование, не должны превышать $\pm 5\%$.

Каждый последующий валик многослойного шва сварных соединений следует выполнять после тщательной очистки предыдущего валика (слоя) от шлака, брызг металла. Участки шва с порами, кратерными трещинами и другими дефектами должны быть удалены до наложения последующих слоев.

Кратеры в местах обрыва дуги должны быть зашлифованы и заварены.

Начало и конец каждого технологического участка в наплавленном валике многослойного шва должны перекрываться последующим со смещением на 25...30 мм.

Сварку вертикальных стыковых соединений начинают с верхнего технологического участка. При сварке соединений толщиной 20 мм и более после выполнения первых 2-3 слоев шва с одной стороны производится зачистка и подварка корневого слоя, а затем с обеих сторон выполняются заполняющие и облицовочные слои шва.

Горизонтальные швы большой протяженности с К-образной разделкой кромок делят на участки с таким расчетом, чтобы два сварщика могли заварить двусторонний шов на таком участке в течение одной смены.

В двухсторонних стыковых соединениях перед выполнением шва с обратной стороны необходимо зачистить корень шва армированным абразивным кругом до чистого бездефектного металла. При выполнении соединений на керамических подкладках или стержнях обратную сторону корня шва следует зачищать металлической щеткой.

Сварку стыковых многослойных швов рекомендуется «вести непрерывно до заполнения проектной разделки. При вынужденных перерывах в проведении сварки технологический участок шва должен быть заполнен не менее чем на половину сечения с обеих сторон двухстороннего шва и на 2/3 сечения для односторонних швов.

В процессе сварки необходимо обеспечивать плавный переход от шва к основному металлу. Величина выпуклости сварных швов не должна превышать значений, указанных в проектной документации и технологических картах. В случае, если высота усиления сварных швов превышает допустимую, сварные швы следует зачистить шлифмашинкой» [10].

Все сведения о выполнении сварочных работ при сооружении резервуара должны регулярно заноситься в журнал пооперационного контроля.

2.3 Описание сварочных материалов

В соответствии с нормативной документацией «Сварочные материалы должны обеспечивать равнопрочность металла шва с основным металлом конструкций резервуаров, т.е. предел прочности металла шва должен быть не ниже нормативного значения предела прочности основного металла. Дополнительным требованием к сварочным материалам для сварки уторного шва является равнопрочность по пределу текучести. Сварочные материалы должны также удовлетворять требованиям к ударной вязкости металла шва и зоны термического влияния» [10].

В соответствии с требованиями нормативной документации [10] в качестве защитного газа предложено применять углекислый газ высшего сорта по ГОСТ 8050.

В соответствии с требованиями нормативной документации [10] в качестве сварочной проволоки предложено применить проволоку сплошного сечения диаметром 1,2 мм ARISTOROD 12.63 производства концерна ESAB.

Качество сварочной проволоки должно соответствовать ГОСТ 2264. Упаковка сварочных материалов должна быть проведена согласно требованиям ТУ на эти материалы. Обязательно наличие сертификатов предприятия-изготовителя, которые удостоверяют качество поставленной сварочной проволоки. Очищенная и намотанная в кассеты сварочная проволока должна храниться в закрытых помещениях, температура в которых не опускается ниже +15 °С. При этом на каждой кассете с проволокой на видном месте необходимо выполнить маркировку несмываемой краской. При намотке проволоки на кассеты следят за тем, чтобы не было перегибов. Сварочные проволоки в зависимости от условий поставки могут быть полированными, омеднёнными или осветлёнными.

2.4 Особенности технологии сварки вертикального резервуара

Укрупнённо технологический процесс сборки и сварки вертикального резервуара можно представить так:

- первая операция – укладка и частичная сварка радиальных стыков окраек, выполняется механизированной сваркой;
- вторая операция – укладка и сварка листов центральной части днища, выполняется механизированной и автоматической сваркой;
- третья операция – монтаж и частичная сварка вертикальных стыков первого пояса стенки, выполняется механизированной сваркой;
- четвёртая операция – сварка уторного шва (соединения первого пояса с днищем резервуара), выполняется автоматической сваркой;
- пятая операция – сварка недоваренных участков днища (полосы центральной части днища, окрайки, приварка окраек к центральной части днища), выполняется механизированной сваркой;
- шестая операция – монтаж листов второго пояса и доварка вертикальных швов первого пояса, выполняется механизированной сваркой;
- седьмая операция – монтаж листов третьего пояса и доварка вертикальных швов второго пояса, выполняется механизированной сваркой ,
- восьмая операция – сварка горизонтального шва между первым и вторым поясами стенки, выполняется автоматической сваркой.

Далее шестую, седьмую и восьмую операции повторяют для последующих поясов стенки.

При выполнении входного контроля следует очистить листы от заусениц, ржавчины, грязи, масла, влаги. Осмотреть поверхность и кромки листов. На кромках листов не должно быть надрывов и трещин.

При выполнении подготовки и сборки листов днища следует зачистить до металлического блеска поверхности кромок и прилегающие к разделке поверхности на ширину не менее 20 мм. С нижней стороны одной из пластин установить на прихватках подкладную пластину. При температуре

окружающего воздуха ниже -5°C или при наличии на кромках следов влаги перед началом сварки каждого прохода или участка шва произвести просушку стыка нагревом. Собрать на прихватках стык с зазором 4...6 мм. Сборку стыка производить согласно эскизу №1. Зачистить прихватки от шлака и брызг. Прихватки зашлифовать. Смещение кромок – не более 1,0 мм. Длина прихватки 50 мм, шаг 300 мм. Схема соединения листов показана на рисунке 7, применение приспособлений при сборке – на рисунке 8. Этапы сборки окраек на подкладке показаны на рисунке 9.

Параметры режима механизированной сварки в защитном газе приведены в таблице 3. Сварку выполнять двойным слоем обратноступенчатым методом секциями по 700 мм по направлению от центра к краям.

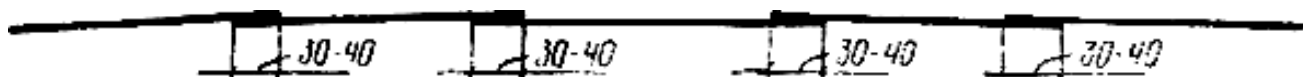
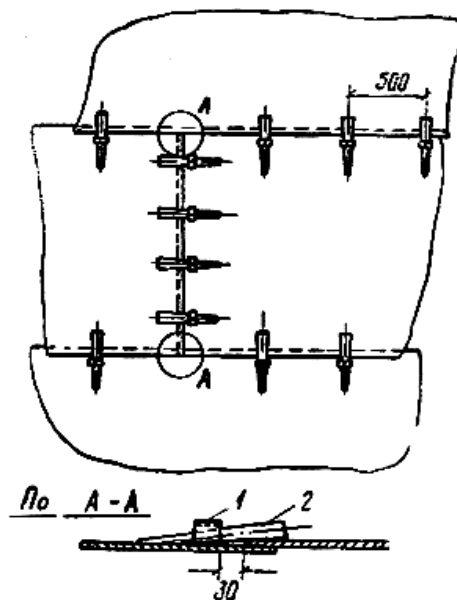


Рисунок 7 – Схема соединения листов в полосе при выполнении дна вертикального резервуара [1]



1 - уголок; 2- клин

Рисунок 8 - Применение стяжных клиновых приспособлений при сборке дна вертикального резервуара

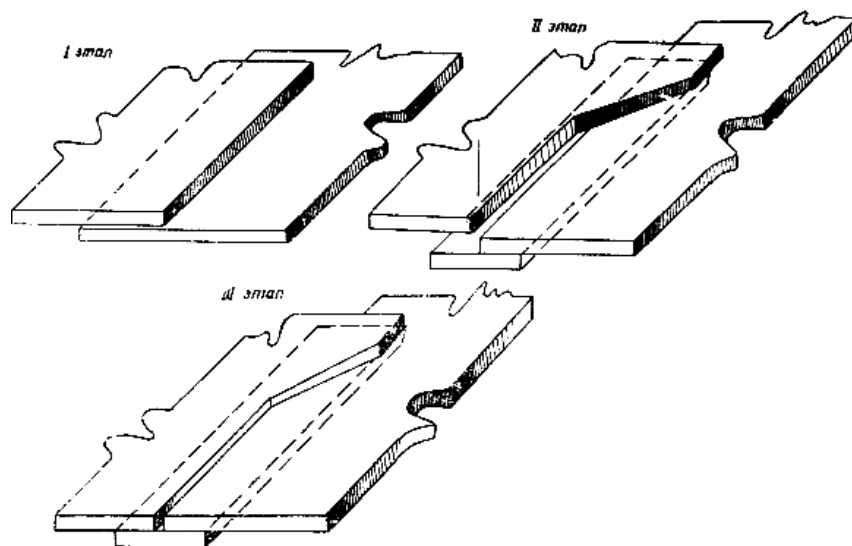


Рисунок 9 – Этапы сборки окраек на подкладке при изготовлении днища вертикального резервуара

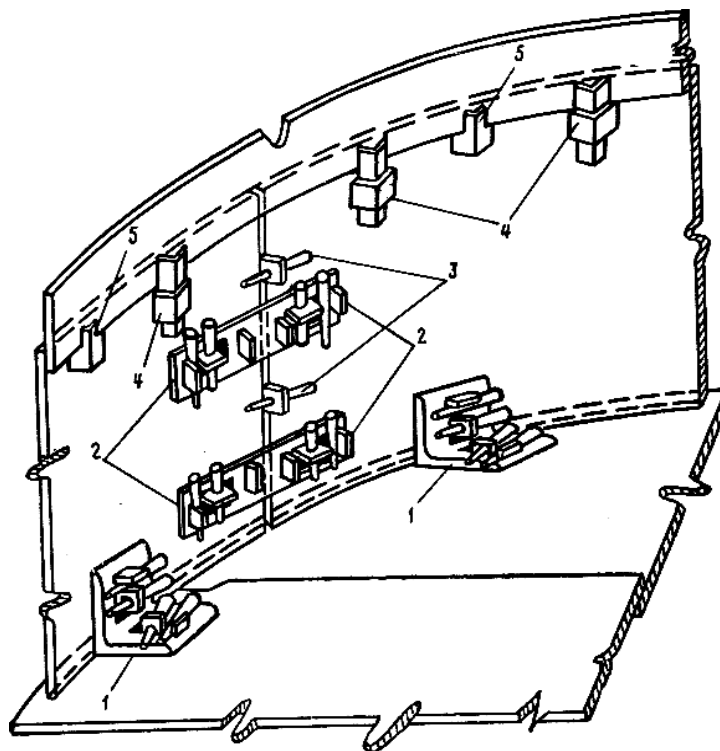
По окончании сварки первого слоя шва зачистить его от шлака и брызг и произвести визуальный контроль. Обнаруженные дефекты вышлифовать и отремонтировать. По окончании сварки всего стыка произвести очистку швов от шлака и брызг металла, проставить клейма сварщиков.

Перед монтажом листы для выполнения поясов следует обработать: проверить на перпендикулярность сторон три кромки листа (кроме верхней) и снять фаски под сварку. В полевых условиях листы можно обрабатывать с помощью переносных механизмов (наждачный круг и др.). Вдоль верхней кромки на расстоянии 30...40 мм от края должна быть сделана риска, обозначающая границу нахлестки листов следующего пояса.

После выполнения этих операций каждый лист корпуса вальцуют на листогибочных вальцах. Вальцовка производится по радиусу, равному внутреннему радиусу корпуса резервуара. Правильность вальцовки проверяется шаблоном. Свальцованные листы складываются в вертикальном положении или выпуклостью вниз на прокладках, располагаемых по концам листа.

К свальцованным листам с внутренней стороны на уровне риски приваривают ослабленным швом ограничители, как показано на рисунке 10, на которые устанавливают листы следующего пояса. К днищу по риске

наружного диаметра корпуса с внешней стороны прихватывают ограничители из уголка. Их назначение – фиксировать положение устанавливаемых листов первого пояса. Расстояние между ограничителями принимается 600...1200 мм.



1 -угловое стяжное приспособление; 2 -сборочные планки; 3 - оправка; 4- прижимные приспособления; 5 - ограничители

Рисунок 10 – Расположение вспомогательных крепежных приспособлений при монтаже стенки вертикального резервуара

При подготовке горизонтальных стыков выполняют зачистку поверхности кромок и прилегающей области до металлического блеска, ширина зачистки составляет 20 мм. Начало вертикальных сварных швов зашлифовывают, добиваясь получения проектной разделки кромок. При сборке кромок горизонтального стыка смещение кромок не должно быть более 2,0 мм. Если на свариваемых кромках присутствуют следы влаги, необходимо выполнить просушку стыка при помощи его нагрева. Если температура окружающего воздуха $+5...-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура предварительного нагрева составляет $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если температура окружающего воздуха $-5...-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура предварительного нагрева составляет $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если

температура окружающего воздуха меньше -20°C , температура предварительного подогрева составляет 150°C .

Далее выполняют механизированную сварку корневого слоя горизонтального шва. Сварку рекомендуется выполнять захватками. В пределах каждой захватки сварку производить обратноступенчатым способом участками длиной до 300 мм. Зашлифовать участки начала и завершения корневого слоя. После завершения сварки корневого слоя следует выполнить визуальный осмотр его поверхности. Участки с излишним усилением (или с поверхностными дефектами) зашлифовать, обеспечив одинаковую высоту валика по всей длине сварного соединения. Зачистить корневой слой от шлака. Параметры режима механизированной сварки корневого слоя при выполнении горизонтального шва приведены в таблице 3.

После выполнения корневого слоя шва, проверки его качества и исправления дефектов выполняют автоматическую сварку горизонтального стыка. Сварку выполняют «напроход» от начала до конца сварного шва. Параметры режима автоматической сварки приведены в таблице 3. Сварку выполняют в два слоя. По окончании сварки первого слоя шва зачистить его от шлака и брызг и произвести визуальный контроль. Обнаруженные дефекты вышлифовать и отремонтировать.

По окончании сварки всего стыка произвести очистку швов от шлака и брызг металла, проставить клеймо сварщика. Места остановки сварочного процесса зашлифовать для плавного перехода. Замки смежных слоев должны быть смещены на расстояние не менее 100 мм.

Выполнение операций проектного технологического процесса требует применения сварочного оборудования.

Для автоматической сварки в среде защитных газов при монтаже днища резервуара применяется сварочный трактор RailTrack B42V производства ESAB, представленный на рисунке 11. Railtrac B42V представляет собой сварочный трактор с возможностью конфигурации с

целью создания оптимального решения для выполнения автоматической сварки по заданной траектории. Для снижения веса конструкции значительная часть её деталей выполнены из алюминия или нержавеющей стали.



Рисунок 11 – Сварочный трактор RailTrack B42V (ESAB)

Для автоматической сварки среде защитных газов горизонтальных швов стенки резервуара применяется сварочный комплекс RailTrack 1000 производства ESAB, представленная на рисунке 12. Такой комплекс оснащён гибкими алюминиевыми рельсами, позволяющими задавать траекторию перемещения сварочной каретки. Крепление рельсов на резервуаре может выполняться при помощи присосок или магнитов. Сварка может выполняться порошковыми проволоками или проволоками сплошного сечения в защитных газах.

Для питания варочной дуги предложено применить промышленный источник постоянного тока Aristo Mig 4004i Pulse, представленный на рисунке 13, позволяющий обеспечивать сварочный ток до 400 А.

Для подачи сварочной проволоки применим механизм подачи сварочной проволоки Aristo Feed 3004 (EASAB), представленный на рисунке 14.



Рисунок 12 – Сварка горизонтального шва резервуара с использованием системы RailTrack 1000 (ESAB)



Рисунок 13 – Источник постоянного тока Aristo Mig 4004i Pulse (ESAB)



Рисунок 14 – Механизм подачи сварочной проволоки Aristo Feed 3004 (EASAB)

Для механизированной и автоматической сварки предлагаем использовать сварочную проволоку ОК ARISTOROD 12.63 (ESAB), позволяющую получать состав наплавленного металла, представленный в таблице 5, химический состав сварочной проволоки представлен в таблице 6.

Таблица 5 – Химический состав наплавленного металла проволокой ОК ARISTOROD 12.63 (ESAB) при использовании смеси Ar + CO₂

C	Cu	Mn	P	S	Si
0,10 %	0,05 %	1,28 %	0,013 %	0,013 %	0,80 %

Таблица 6 – Химический состав сварочной проволоки ОК ARISTOROD 12.63 (ESAB)

C	Mn	Mo	Si
0,074 %	1,68 %	0,4 %	0,95 %

Неомеднённая легированная сварочная проволока ОК ARISTOROD 13.08 предназначена для сварки ответственных изделий из низкоуглеродистой и низколегированной стали. Проволока имеет пониженную чувствительность к порообразованию при сварке по окисленным и загрязненным поверхностям. Проволока рекомендуется для автоматической и роботизированной сварки, позволяет повысить срок службы сварочных наконечников.

2.6 Контроль качества при изготовлении вертикального резервуара

В процессе сварки проверяется:

- режим сварки;
- последовательность наложения швов;
- размеры накладываемых слоев шва и окончательные размеры шва;
- выполнение специальных требований, предписанных ПТД;

- наличие клейма сварщика на сварном соединении после окончания сварки.

Контроль качества сварных соединений стальных конструкций производится:

- внешним осмотром с проверкой геометрических размеров и формы швов в объеме 100 %;

- неразрушающими методами (радиографированием или ультразвуковой дефектоскопией) в объеме 100 % длины швов.

Нормы оценки качества сварных соединений представлены в таблице 7, применяемые методы контроля представлены в таблице 8.

Таблица 7 – Нормы оценки качества сварных соединений по результатам внешнего осмотра

Элементы сварных соединений, наружные дефекты	Требования к качеству, допустимые размеры дефектов
Поверхность шва	Равномерно-чешуйчатая, без прожогов, наплывов, сужений и перерывов. Плавный переход к основному металлу
Подрезы	Глубина до 5% толщины свариваемого проката, но не более 1 мм
Дефекты удлиненные и сферические одиночные	Глубина до 10% толщины свариваемого проката, но не более 3 мм. Длина – до 20% длины оценочного участка
Дефекты удлиненные сферические в виде цепочки или скопления	Глубина до 5% толщины свариваемого проката, но не более 2 мм. Длина — до 20% длины оценочного участка. Длина цепочки или скопления – не более удвоенной длины оценочного участка
Дефекты (непровары, цепочки и скопления пор) соседние по длине шва	Расстояние между близлежащими концами — не менее 200 мм
Непровары, несплавления, цепочки и скопления наружных дефектов	Не допускаются

При контроле качества выполняют визуальный и измерительный контроль шва, также при контроле качества применяются физические методы согласно требованиям НТД.

По результатам визуального и измерительного контроля сварной шов должен отвечать следующим требованиям:

- чешуйчатость шва должна быть гладкая и равномерная, глубина и высота впадин не должна превышать 1 мм;
- шов должен плавно сопрягаться с основным металлом;
- трещины, несплавления, наплывы, прожоги, свищи, наружные поры и цепочки пор, грубая чешуйчатость не допускаются;
- подрезы основного металла не должны быть более 0,5 мм.

Таблица 8 – Методы контроля качества сварных соединений при строительстве вертикальных резервуаров

Тип и расположение сварного соединения	Применяемый способ контроля качества в соответствии с НТД [1]
1) Все сварные швы	Визуальный и измерительный контроль качества
2) Сварные стыки окраек днища: 250 мм от наружного края	Ультразвуковой и радиографический
3) Сварные соединения окрайков и все центральные части днища	Вакуумирование
4) Вертикальные сварные швы стенки 1-го и 2-го поясов	Ультразвуковой и радиографический
5) Уторный сварной шов сопряжения стенки с днищем	Визуальный и измерительный контроль качества, капиллярный контроль качества
6) Вертикальные сварные швы стенки остальных поясов	Ультразвуковой контроль качества
7) Горизонтальные сварные швы	Ультразвуковой контроль качества
8) Зоны приварки монтажных приспособлений к стенке	Капиллярный контроль качества

Результаты контроля качества сварных соединений стальных конструкций должны отвечать требованиям нормативной документации. Контроль размеров сварного шва и определение величины выявленных дефектов следует производить измерительным инструментом, имеющим точность измерения $\pm 0,1$ мм, или специальными шаблонами для проверки геометрических размеров швов. При внешнем осмотре рекомендуется применять лупу с 5...10-кратным увеличением. При внешнем осмотре качество сварных соединений конструкций должно удовлетворять требованиям, представленным в таблице 4. Трещины всех видов и размеров в швах сварных соединений конструкций не допускаются и должны быть устранены с последующей заваркой и контролем.

Контроль швов сварных соединений конструкций неразрушающими методами следует проводить после исправления недопустимых дефектов, обнаруженных внешним осмотром.

Заключение по второму разделу

По результатам анализа состояния вопроса по теме сварки вертикальных резервуаров сформулированы задачи выпускной квалификационной работы:

- обоснование выбора способа сварки (частичная замена ручной сварки на механизированную и механизированной сварки на автоматическую);
- повышение эффективности выбранных способов сварки применительно к рассматриваемому резервуару, выбор сварочного оборудования, материалов и оптимальных параметров режима сварки;
- составление проектного технологического процесса с учётом ранее найденных технических решений.

Решая первую задачу были рассмотрены такие способы, разрешенные нормативно-технической документацией применительно к сварке вертикальных резервуаров, как:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- механизированная и автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов;
- механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой;
- автоматическая сварка под флюсом.

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа была выполнена их экспертная оценка, по результатам которой для построения проектной технологии сварки предложено применить механизированную и автоматическую сварку проволокой сплошного сечения в защитном газе.

Решая вторую задачу предложено оборудование производства концерна ESAB и сварочная проволока ОК ARISTOROD 12.63.

Решая третью задачу составлен проектный технологический процесс, предусматривающий выполнение следующих операций:

- первая операция – укладка и частичная сварка радиальных стыков окраек, выполняется механизированной сваркой;

- вторая операция – укладка и сварка листов центральной части днища, выполняется механизированной и автоматической сваркой;

- третья операция – монтаж и частичная сварка вертикальных стыков первого пояса стенки, выполняется механизированной сваркой;

- четвёртая операция – сварка уторного шва (соединения первого пояса с днищем резервуара), выполняется автоматической сваркой;

- пятая операция – сварка недоваренных участков днища (полосы центральной части днища, окрайки, приварка окраек к центральной части днища), выполняется механизированной сваркой;

- шестая операция – монтаж листов второго пояса и доварка вертикальных швов первого пояса, выполняется механизированной сваркой;

- седьмая операция – монтаж листов третьего пояса и доварка вертикальных швов второго пояса, выполняется механизированной сваркой ,

- восьмая операция – сварка горизонтального шва между первым и вторым поясами стенки, выполняется автоматической сваркой.

Далее шестую, седьмую и восьмую операции повторяют для последующих поясов стенки.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал. Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при сварке вертикального стального резервуара РВС-5000.

Проектная технология сварки резервуара укрупнённо представлена следующими операциями:

- сборка и частичная сварка днища резервуара;
- монтаж и частичная сварка первого пояса стенки резервуара;
- сварка уторного шва;
- доварка днища резервуара;
- монтаж и сварка поясов стенки резервуара.

Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартным средств и мероприятий.

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

На основании анализа данных таблицы 9 может быть выполнена идентификация опасных производственных факторов, которые сопровождают каждую операцию технологического процесса.

Таблица 9 – Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества
1) сборка и частичная сварка днища резервуара	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Aristo Mig 4004i Pulse, - механизм подачи Aristo Feed 3004, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока ОК ARISTOROD 12.63 Ø 1,2 мм, - защитный газ, - рулетка, - чертилка, - сборочные скобы, - поперечные гребёнки
2) монтаж и частичная сварка первого пояса стенки резервуара	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Aristo Mig 4004i Pulse, - механизм подачи Aristo Feed 3004, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока ОК ARISTOROD 12.63 Ø 1,2 мм, - защитный газ, - рулетка, - чертилка, - чертилка, - упоры приварные
3) сварка уторного шва	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Aristo Mig 4004i Pulse, - механизм подачи Aristo Feed 3004, - система автоматической сварки RailTrack, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока ОК ARISTOROD 12.63 Ø 1,2 мм, - защитный газ
4) доварка днища резервуара	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Aristo Mig 4004i Pulse, - механизм подачи Aristo Feed 3004, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока ОК ARISTOROD 12.63 Ø 1,2 мм, - защитный газ
5) монтаж и сварка поясов стенки резервуара	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Aristo Mig 4004i Pulse, - механизм подачи Aristo Feed 3004, - система автоматической сварки RailTrack, - набор визуально-измерительного контроля - аппарат УЗК	- сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, - защитный газ

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса, что отражено в таблице 10.

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

Таким образом, выделено восемь негативных производственных факторов:

- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования,
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования,
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека,
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений,

- радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья,

- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.

Таблица 10 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1) сборка и частичная сварка днища резервуара	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания, - механизм подачи, - аппарат рентгеновского контроля, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля
2) монтаж и частичная сварка первого пояса стенки резервуара	<ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение, - радиоактивное излучение 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания, - механизм подачи, - аппарат рентгеновского контроля, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля
3) сварка уторного шва	<ul style="list-style-type: none"> - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания, - механизм подачи, - система автоматической сварки, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля

Продолжение таблицы 10

1	2	3
4) доварка днища резервуара	<ul style="list-style-type: none"> - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение; - радиоактивное излучение 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания, - механизм подачи, - аппарат рентгеновского контроля, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля
5) монтаж и сварка поясов стенки резервуара	<ul style="list-style-type: none"> - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение; - ультразвуковое излучение 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания, - механизм подачи, - система автоматической сварки, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля, - аппарат УЗК

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 11 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	<ul style="list-style-type: none"> 1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности 	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	<ul style="list-style-type: none"> 1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек 	Спецодежда

Продолжение таблицы 11

1	2	3
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
8) радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда

На основании идентифицированных профессиональных рисков, возникающих при реализации проектной технологии, возможен последующий их анализ и выработка решений по их снижению до приемлемого уровня, приведённые в таблице 11.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом

техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара, приведённых в таблице 12, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 13.

Таблица 12 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется сборка и сварка	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 13 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Таблица 14 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для сборки и сварки (механизованная и автоматическая сварка)	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий, представленных в таблице 14. Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

3.5 Обеспечение экологической безопасности

Таблица 15 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Сборка и сварка (механизованная и автоматическая сварка)	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 16 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблице 15 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов, сведённые в таблицу 16.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки вертикального резервуара.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки с применением механизированной сварки в среде защитных газов позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его

влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

4 Оценка экономической эффективности проектной технологии

4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности сварки при строительстве вертикальных резервуаров.

Проектная технология сварки резервуара укрупнённо представлена следующими операциями:

- сборка и частичная сварка днища резервуара;
- монтаж и частичная сварка первого пояса стенки резервуара;
- сварка уторного шва;
- доварка днища резервуара;
- монтаж и сварка поясов стенки резервуара.

При выполнении базовой технологии сварки применяется ручная дуговая сварка штучными электродами и механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитном газе. В проектной технологии предложено ручную дуговую сварку заменить на механизированную сварку проволокой сплошного сечения в защитном газе, а при сварке длинномерных швов применять автоматическую сварку в защитном газе.

Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки. В настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции. Исходные данные представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	P_p	-	V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Цоб$	Руб.	1710 тыс.	3410 тыс.
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	16	20
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$На$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Цэ-э$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	m^2	1000	1000
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	P/m^2	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	En	-	0,33	0,33

Таблица 18 – Расчёт стоимости применяемого оборудования по базовому и проектному вариантам технологии

Наименование оборудования	Базовая технология	Проектная технология
Комплект сборочных приспособлений, 1 шт.	500 тыс.	500 тыс.
Сварочная установка УСТ-22, 1 шт.	550 тыс.	-
Подающий механизм ПДГ-508, 2 шт.	40 тыс.	-
Источник постоянного тока Aristo Mig 4004i Pulse, 2 шт.	-	700 тыс.
Сварочный трактор RailTrack B42V, 1 шт.	-	570 тыс.
Механизм подачи сварочной проволоки Aristo Feed 3004, 2 шт.	-	360 тыс.
Система RailTrack 1000, 1 шт.	-	600 тыс.
Аппарат рентгеновского контроля Эра 42, 1 шт.	310 тыс.	310 тыс.
Аппарат ультразвукового контроля УСД-60, 1 шт.	370 тыс.	370 тыс.
ИТОГО:	1710 тыс.	3410 тыс.

Представленные в таблице 17 исходные данные для выполнения расчётов по проектной и базовой технологиям позволяют в дальнейшем оценить технологическую себестоимость проектного и базового варианта, капитальные затраты по вариантам технологии и рассчитать показатели экономической эффективности.

Для заполнения таблицы 17 потребуется информация о стоимости применяемого оборудования при выполнении операций базового и проектного технологического процесса, которую свели в таблицу 18.

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных согласно таблице 13: суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 277$ дней, длительность рабочей смены $T_{см} = 8$ часов, количество предпраздничных дней $D_{п} = 7$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{п} = 1$ час, принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен $K_{см} = 1$. Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

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

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое

применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени $B = 7 \%$:

$$F_э = F_н(1-B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время $t_{шт}$ является суммой затрат времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени $t_{маш}$; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени $t_{всп}$; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования) $t_{обсл}$; времени $t_{отд}$ на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени $t_{п-з}$:

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

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит:

$$t_{шт.баз} = 120 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 210 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 90 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 157 \text{ ч.}$$

Годовая программа $П_г$ выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени $F_э$ и

согласно (3) штучного времени $t_{шт}$:

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (4) после подстановки численных значений:

$$П_{Г.баз.} = 2054/210 = 9 \text{ резервуаров за год};$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054/157 = 13 \text{ резервуаров за год}.$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $П_{Г} = 5$ резервуаров в год.

При этом необходимое количество $n_{расч}$ оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента $K_{вн}$ выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем $K_{вн} = 1,03$):

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

Требуемое количество оборудования $n_{расч}$ для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (5), составляет:

$$n_{расч.б} = \frac{210 \cdot 5}{2054 \cdot 1,03} = 0,5, \quad n_{расч.пр} = \frac{157 \cdot 5}{2054 \cdot 1,03} = 0,4.$$

Необходимое количество оборудования $n_{пр}$, которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ($n_{пр} = 1$). Коэффициент K_3 загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов загрузки K_3 для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{3б} = 0,5/1 = 0,5, \quad K_{3п} = 0,4/1 = 0,4.$$

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

Выполнение дуговой сварки предусматривает расходование сварочных материалов. При ручной дуговой сварке расходным материалов будут сварочные штучные электроды. При механизированной сварке в среде защитных газов проволокой сплошного сечения расходными материалами будут защитный газ и сварочная проволока.

Затраты M на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов H_p , цены материалов C_M и коэффициента $K_{ТЗ}$ транспортно-заготовительных расходов:

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

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_b = (900 \text{ кг} \cdot 110 \text{ р/кг} + 1100 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 6000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 236250 \text{ руб.},$$

$$M_{пр} = (2000 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 9000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 220500 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы $Z_{осн}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени $t_{шт}$, часовой тарифной ставки $C_ч$ и коэффициента K_d доплат:

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

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (8) составляет:

$$Z_{осн.баз.} = 210 \cdot 200 \cdot 1,88 = 78960 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн.проектн.} = 157 \cdot 200 \cdot 1,88 = 59032 \text{ руб.}$$

Объём дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии,

рассчитаем с учётом основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{доп}}$ дополнительных доплат ($K_{\text{доп}} = 12\%$):

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

Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (9) после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 78960 \cdot 12 / 100 = 9475 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 59032 \cdot 12 / 100 = 7083 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы $\Phi ЗП$ вычисляется как сумма основной $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 78960 + 9475 = 88435 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 59032 + 7083 = 66115 \text{ руб.}$$

Объём отчислений $O_{\text{сн}}$ из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента $K_{\text{сн}}$ отчислений на социальные нужды:

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

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (10) соответствующих значений:

$$O_{\text{сн.баз.}} = 88435 \cdot 34 / 100 = 30068 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сн.проектн.}} = 66115 \cdot 34 / 100 = 22480 \text{ руб.}$$

Затраты $Z_{\text{об}}$ на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат $A_{\text{об}}$ на амортизацию и $P_{\text{эз}}$ на электрическую энергию:

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

Величина $A_{об}$ амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования $C_{об}$, нормы амортизации H_a , машинного времени $t_{маш}$, и эффективного фонда времени $F_э$ с использованием зависимости:

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

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (12) соответствующих значений, составляет:

$$A_{об. баз.} = 1710000 \cdot 21,5 \cdot 120 / 2054 / 100 = 21479 \text{ руб.},$$

$$A_{об. пр.} = 3410000 \cdot 21,5 \cdot 90 / 2054 / 100 = 32124 \text{ руб.}$$

Расходы $P_{ээ}$ на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования $M_{уст}$, цены электрической энергии $C_{ээ}$ для предприятий, машинного времени $t_{маш}$ и КПД оборудования:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{э-э}}{КПД}. \quad (13)$$

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{ээ баз.} = 120 \cdot 16 \cdot 3,2 / 0,7 = 8777 \text{ руб.},$$

$$P_{ээ пр.} = 90 \cdot 20 \cdot 3,2 / 0,85 = 6776 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$Зоб_{баз.} = 21479 + 8777 = 30256 \text{ руб.},$$

$$Зоб_{проектн.} = 32124 + 6776 = 38918 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость $C_{тех}$ рассчитывается как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{сс}$ и затрат на оборудование $З_{об}$:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \text{ФЗП} + \text{Осс} + \text{З}_{\text{ОБ}} \quad (14)$$

Рассчитанная после подстановки в (14) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 236250 + 88435 + 30068 + 30256 = 385008 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 220500 + 66115 + 22480 + 38918 = 348013 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость $C_{\text{цех}}$ рассчитывается с учётом технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, основной заработной платы $\text{З}_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{цех}}$ цеховых расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 385008 + 1,5 \cdot 78960 = 385008 + 118440 = 503449 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 348013 + 1,5 \cdot 59032 = 348013 + 88548 = 436561 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость $C_{\text{зав}}$ рассчитывается с учётом цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, основной заработной платы $\text{З}_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{зав}}$ заводских расходов:

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

Рассчитанная после подстановки в (16) соответствующих значений заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 503449 + 1,15 \cdot 78960 = 503449 + 90804 = 594253 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 436561 + 1,15 \cdot 59032 = 436561 + 67887 = 504448 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 19.

Таблица 19 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	<i>M</i>	236250	220500
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	88435	66115
3. Отчисления на соц. нужды	<i>О_{СН}</i>	30068	22480
4. Затраты на оборудование	<i>Зоб</i>	30256	38918
5. Технологическая себестоимость	<i>С_{тех}</i>	385009	348013
6. Цеховые расходы	<i>Р_{цех}</i>	118440	88548
7. Цеховая себестоимость	<i>С_{цех}</i>	503449	436561
8. Заводские расходы	<i>Р_{зав}</i>	90804	67887
9. Заводская себестоимость	<i>С_{зав}</i>	594253	504448

Таким образом, на основании данных таблицы 19 можно заключить, что внедрение проектной технологии позволяет значительно уменьшить затраты и себестоимость сварки.

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$, коэффициента загрузки оборудования $K_{з. б.}$ рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{з. б.} \quad (17)$$

Остаточную стоимость $\Pi_{\text{об.б.}}$ оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования $\Pi_{\text{перв}}$, срока службы оборудования T_c и нормы амортизации H_a оборудования:

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (18) соответствующих значений, составляет:

$$Ц_{\text{ОБ.Баз.}} = 1710000 - (1710000 \cdot 2 \cdot 21,5/100) = 974700 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 974700 \cdot 0,5 = 487350 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}}$ для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование $K_{\text{об. пр.}}$, вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, сопутствующих вложений $K_{\text{соп.}}$:

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

Капитальные вложения $K_{\text{об. пр.}}$ в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования $Ц_{\text{об. пр.}}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{зп}}$ по проектному варианту:

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

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (20) соответствующих значений составляет:

$$K_{\text{об. пр.}} = 3410000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 716100 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения $K_{\text{соп.}}$ по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж $K_{\text{дем}}$ базового оборудования и расходов на монтаж $K_{\text{монт}}$ проектного оборудования:

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

Расходы на демонтаж $K_{\text{дем}}$ и монтаж $K_{\text{монт}}$ рассчитываем с учётом стоимости оборудования $Ц_{\text{б}}$ и $Ц_{\text{пр}}$ по базовому и проектному вариантам, коэффициентов $K_{\text{д}}$ и $K_{\text{м}}$ на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{\text{дем}} = Ц_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д.}} \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = Ц_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м.}} \quad (23)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (21), (22) и (23) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 1710000 \cdot 0,05 = 85500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 3410000 \cdot 0,05 = 170500 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 85500 + 170500 = 256000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (19) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр}} = 716100 + 256000 = 972100 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения $K_{\text{доп}}$ рассчитываем исходя из капитальных затрат $K_{\text{общ.пр.}}$ и $K_{\text{общ.б.}}$ для проектного и базового вариантов технологии:

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

$$K_{\text{доп}} = 972100 - 487350 = 484750 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ рассчитываем с учётом годовой программы Π_{Γ} :

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{\Pi_{\Gamma}}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 487350/5 = 97470 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 972100/5 = 194420 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости $\Delta t_{\text{шт}}$ при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени $t_{\text{шт.б.}}$ и $t_{\text{шт.пр.}}$ по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{210 - 157}{210} \cdot 100\% = 25\%$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $\Delta t_{\text{шт}}$:

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 25}{100 - 25} = 33\%$$

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$ при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{385009 - 348013}{385009} \cdot 100\% = 10\%$$

Расчёт условно-годовой экономии $\text{Пр}_{\text{ож}}$ (ожидаемой прибыли), которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_T \quad (29)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (29) соответствующих значений составила:

$$\mathcal{E}_{y.g.} = (594253 - 504448) \cdot 5 = 449025 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости $T_{ок}$ дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{ок} = \frac{K_{доп}}{\mathcal{E}_{y.g.}} \quad . \quad (30)$$

Срок окупаемости после подстановки в (30) соответствующих значений составил:

$$T_{ок} = 484750 / 449025 = 1 \text{ год}$$

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_г$, получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{y.g.} - E_n \cdot K_{доп} \quad (31)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (31) соответствующих значений составил:

$$\mathcal{E}_г = 449025 - 0,33 \cdot 484750 = 289058 \text{ руб.}$$

Выводы по экономическому разделу

При выполнении базовой технологии сборки и сварки вертикального резервуара применяется ручная дуговая сварка и механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах. Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

Проектный вариант технологии предполагает использование механизированной и автоматической сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ.

Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 25 %, повышение производительности труда на 33 %, уменьшение технологической себестоимости на 10 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 450 тыс. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 290 тыс. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 1 год.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварки при монтаже вертикальных стальных резервуаров на примере резервуара объёмом 5000 м³.

По результатам анализа состояния вопроса по теме сварки вертикальных резервуаров сформулированы задачи выпускной квалификационной работы:

- обоснование выбора способа сварки (частичная замена ручной сварки на механизированную и механизированной сварки на автоматическую);
- повышение эффективности выбранных способов сварки применительно к рассматриваемому резервуару, выбор сварочного оборудования, материалов и оптимальных параметров режима сварки;
- составление проектного технологического процесса с учётом ранее найденных технических решений.

Решая первую задачу были рассмотрены такие способы, разрешенные нормативно-технической документацией применительно к сварке вертикальных резервуаров, как:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- механизированная и автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов;
- механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой;
- автоматическая сварка под флюсом.

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа была выполнена их экспертная оценка, по результатам которой для построения проектной технологии сварки предложено применить механизированную и автоматическую сварку проволокой сплошного сечения в защитном газе.

Решая вторую задачу предложено оборудование производства концерна ESAB и сварочная проволока ОК ARISTOROD 12.63.

Решая третью задачу составлен проектный технологический процесс, предусматривающий выполнение следующих операций:

- первая операция – укладка и частичная сварка радиальных стыков окраек, выполняется механизированной сваркой;

- вторая операция – укладка и сварка листов центральной части днища, выполняется механизированной и автоматической сваркой;

- третья операция – монтаж и частичная сварка вертикальных стыков первого пояса стенки, выполняется механизированной сваркой;

- четвёртая операция – сварка уторного шва (соединения первого пояса с днищем резервуара), выполняется автоматической сваркой;

- пятая операция – сварка недоваренных участков днища (полосы центральной части днища, окрайки, приварка окраек к центральной части днища), выполняется механизированной сваркой;

- шестая операция – монтаж листов второго пояса и доварка вертикальных швов первого пояса, выполняется механизированной сваркой;

- седьмая операция – монтаж листов третьего пояса и доварка вертикальных швов второго пояса, выполняется механизированной сваркой ,

- восьмая операция – сварка горизонтального шва между первым и вторым поясами стенки, выполняется автоматической сваркой.

Далее шестую, седьмую и восьмую операции повторяют для последующих поясов стенки.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 290 тыс. рублей. Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели. Полученные результаты предлагается внедрить при строительстве резервуарных парков.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Гайсин Э. Ш., Фролов Ю. А. Методический подход к оценке качества технических систем с учётом их жизненного цикла на примере резервуара стального вертикального (РВС) // Нефтегазовое дело. 2012. № 3. С. 83–86.
2. Кондрашова О. Г., Назарова М. Н. Причино-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2004. № 2. С. 21–29.
3. Мазур А. А., Пустовойт С. В., Петрук В. С., Бровченко Н. С. Рынок сварочных материалов Украины // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 49–55.
4. Маковецкая О. К. Современный рынок сварочной техники и материалов // Автоматическая сварка. 2011. № 6. С. 23–38.
5. Пермяков М. Б., Мышинский М. И. Повышение длительных эксплуатационных свойств металла зон сварных тавровых соединений большепролётных подкрановых балок // European Science. 2017. № 2 С. 17–20.
6. Пермяков М. Б., Чернышова Э. П., Кришан А. Л. Актуальные проблемы строительства : монография. Магнитогорск, 2013. 139 с.
7. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
8. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнология, 2007. 192 с.
9. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.

10. РД 25.160.10-КТН-001-12 Инструкция по технологии сварки при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. 2011. 216 с.
11. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г. А. Николаев (пред.) [и др.]. М.: Машиностроение, 1978. Том 2. / Под ред. А. И. Акулова, 1978. 462 с.
12. Сильницкий П. Ф. Влияние дефектов сварки на напряжённо-деформированное состояние резервуаров : дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. Тюмень, 2012.
13. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
14. Чеканова Ю. В. Новые компоненты сварочных материалов с использованием сырья Кольского полуострова: кондиционирование, синтез и взаимодействие : дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. Апатиты, 2015.
15. Швырков С. А., Горячев С. А., Сорокоумов В. П. Статистика квазимгновенных разрушений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. 2007. № 6. С. 48–52.
16. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.
17. Chernyshova E. P. Architectural Town-Planning Factor and Color Environment / E.P. Chernyshova, M.B. Permyakov // World Applied Sciences Journal. – 2017. – № 7. – С. 371–384.
18. Chernyshova E. P., Permyakov M. B. Architectural town-planning factor and color environment / E.P. Chernyshova, M.B. Permyakov // World Applied Sciences Journal. – 2013. – vol. 27. – № 4. – С. 437–443.
19. Dilthy U., Reisgen U., Stenke V. et al. Schutzgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. – 1995. – 47, № 2. – S. 118–123.

20. Dixon K. Shielding gas selection for GMAW of steels // *Welding and Metal Fabrication*. – 1999. – № 5. – P. 8–13.

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

22. Wilson, D.V. Effect of strain aging on fatigue damage in low-carbon steel / D.V. Wilson, T.K. Tromans // *Acta Metallurgica*. – 1970. – vol. 18. – P. 1197–1208.