

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные
процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология сварки вертикального стального резервуара
РВСП 20000

Студент

О.В. Семенюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов

(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

Разработка месторождений нефти на Севере Сибири Российской Федерации делает необходимым строительство резервуарного парка, который будет использоваться для хранения и переработки нефтепродуктов.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных операций при монтаже вертикальных стальных резервуаров на примере резервуара РВСП 20000.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- обоснование замены применяемых по базовой технологии способов сварки на более производительные и обеспечивающие высокое качество сварных швов;

- выбор сварочного оборудования, материалов и оптимальных параметров режима сварки для построения проектной технологии сборки и сварки резервуара;

- составление проектного технологического процесса сборки и сварки резервуара РВСП-20000.

Анализ возможных способов сварки позволил обосновать выбор автоматической сварки под флюсом для построения 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 1,95 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,6 года.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние сварки вертикальных резервуаров объёмом 20000 кубических метров.	7
1.1 Назначение резервуара и особенности его конструкции.	7
1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара	10
1.3 Описание операций при выполнении сварки на строительстве вертикального резервуара	12
1.4 Выбор метода возведения резервуара.	17
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	22
2 Проектная технология выполнения сварочных работ при возведении резервуара.	23
2.1 Обоснование выбора способа сварки	23
2.2 Общие требования к выполнению сварочных операций.	27
2.3 Описание сварочных операций при возведении резервуара.	28
2.4 Оборудование для выполнения сварочных операций.	33
2.5 Контроль качества при изготовлении вертикального резервуара ..	35
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	39
3.1 Технологическая характеристика объекта	39
3.2 Идентификация профессиональных рисков	41
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	43
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	46
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	52

4.3 Расчет штучного времени	53
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	55
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	60
4.6 Показатели экономической эффективности.	62
Заключение	65
Список используемой литературы и используемых источников	66

Введение

Разработка месторождений нефти на Севере Сибири Российской Федерации делает необходимым строительство резервуарного парка, который будет использоваться для хранения и переработки нефтепродуктов.

Поскольку резервуары могут быть изготовлены из отдельных листов, это позволяет организовать доставку и сборку резервуара на значительном расстоянии от завода, где были выполнены его основные элементы (части конструкции: элементы днища, стенки, крыши, арматура и т.д.)

Наиболее удобными при монтаже и обслуживании могут быть признаны вертикальные стальные резервуары, технология производства которых имеет значительный потенциал совершенствования.

Вертикальные стальные резервуары могут быть признаны важнейшим элементом нефтяной отрасли, без которого функционирование ресурсодобывающей отрасли было бы невозможным. Назначение резервуаров вертикальных стальных (РВС) – хранение нефтепродуктов, которое может происходить в различных климатических условиях. При разрушении резервуара происходит розлив нефтепродукта по значительной территории, существует даже риск его возгорания, что может привести не только к нарушению экологической обстановки в регионе, но и к человеческим жертвам [17]. Согласно [6] за 50 последних лет эксплуатации вертикальных стальных резервуаров в нашей стране произошло более 140 их крупных аварий с розливом нефтепродуктов.

При этом следует отметить высокие требования по безопасности, которые предъявляются к конструкции резервуаров, аварийное разрушение которых приводит к тяжелейшим экологическим последствиям [6], [17].

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 [12] особо указывает на необходимость применения автоматической сварки под флюсом, механизированной сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах и самозащитной проволокой.

В связи с этим актуальным остаётся вопрос замены ручной дуговой сварки на операциях при строительстве резервуаров более производительными автоматическими и механизированными способами сварки.

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 эффективности сварочных операций при монтаже вертикальных стальных резервуаров на примере резервуара РВСП 20000.

Предметом исследования в выпускной квалификационной работе является технология сварки при строительстве вертикальных стальных резервуаров. Объектом исследования является вертикальный цилиндрический резервуар объёмом 20000 м³.

1 Современное состояние сварки вертикальных резервуаров объёмом 20000 кубических метров

1.1 Назначение резервуара и особенности его конструкции

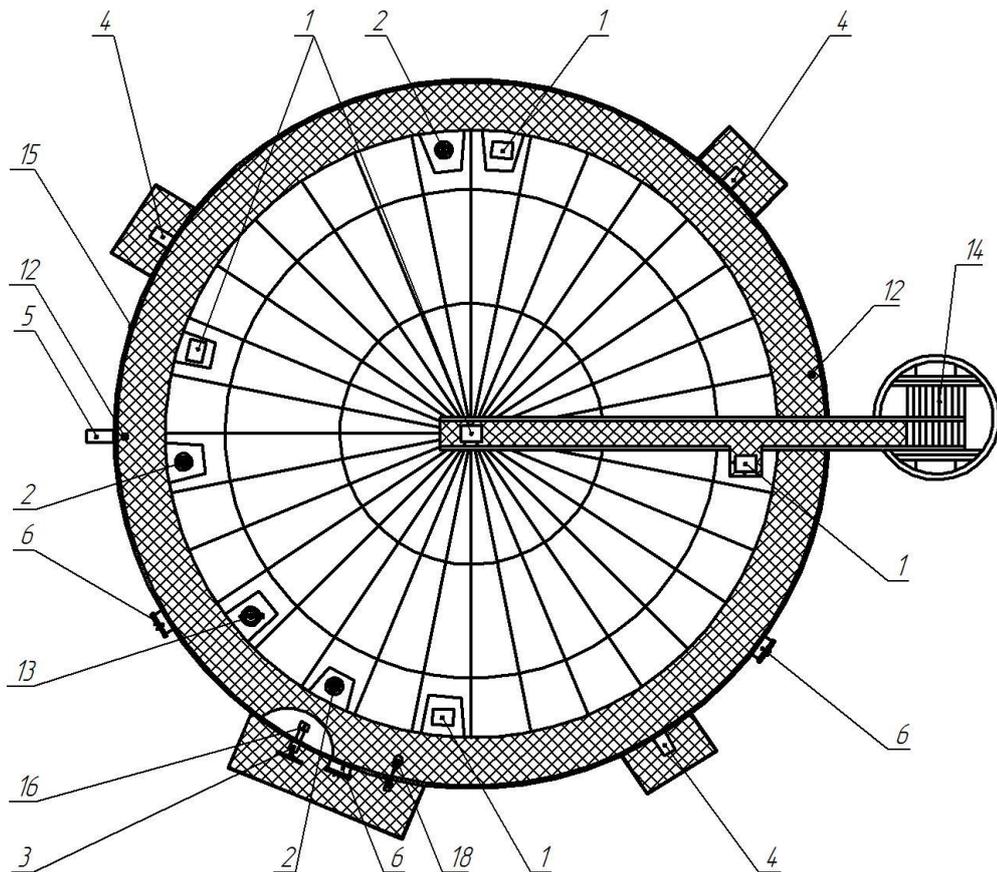
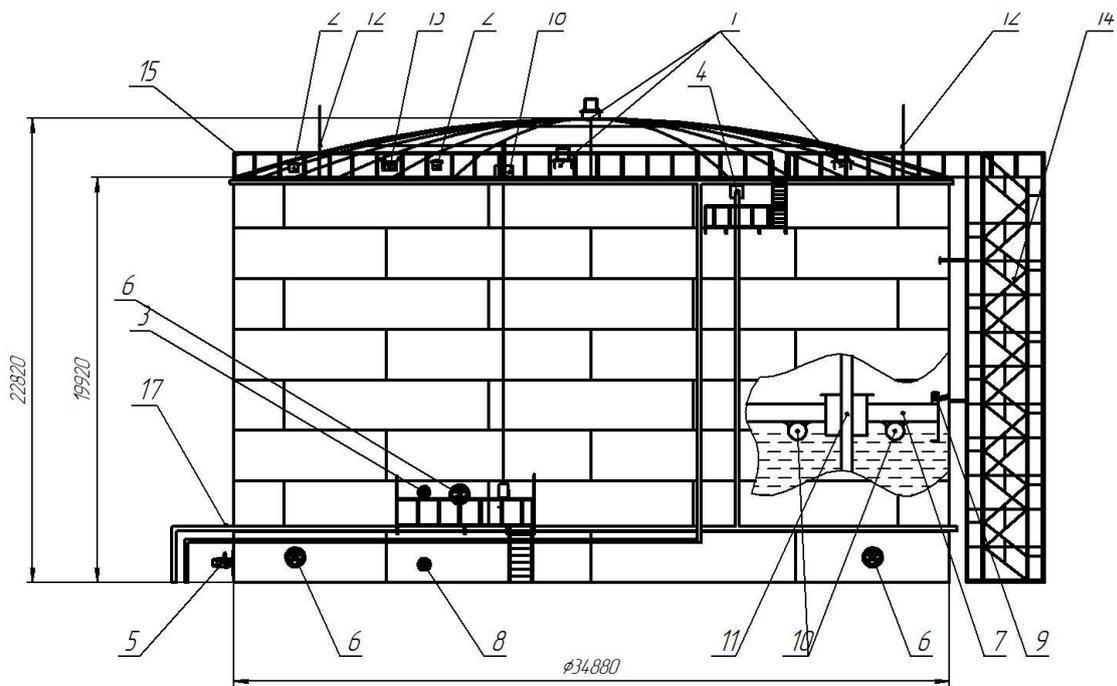
Резервуар РВСП-20000, представленный на рисунке 1, предназначен для приема, откачки и хранения товарной нефти по ГОСТ Р 51858-2020 на объектах магистральных нефтепроводов и нефтебаз в микроклиматических районах с холодным климатом, в которых средняя из ежегодных абсолютных минимумов температуры воздуха ниже минус 45 °С согласно ГОСТ 15150-69.

Для оборудования за расчетную принята температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,98 – 53 С°, что соответствует климатическому исполнению ХЛ (УХП) по ГОСТ 15150-69.

Для трубопроводов за расчетную принята температура воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 – 51°С.

В состав резервуара, представленного на рисунке 1, входит: 1 – патрубок вентиляционный, 2 – люк световой, 3 – механизм управления хлопушей, 4 – генератор пены, 5 – кран сифонный, 6 – люк-лаз, 7 – понтон, 8 – патрубок приёмо-раздаточный, 9 – уплотняющий затвор, 10 – поплавок, 11 – направляющая, 12 – молниеприёмники, 13 – замерный люк, 14 – лестница шахтная, 15 – ограждение, 16 – хлопуша, 17 – система орошения, 18 – поплавковый уровнемер.

Вертикальный стальной резервуар, представленный на рисунке 1, является наземным объёмным строительным сооружением и представляет собой вертикально установленную ёмкость. Назначение резервуара – приём, хранение, подготовка и учёт нефтепродуктов.



- 1 – патрубок вентиляционный, 2 – люк световой, 3 – механизм управления хлопушей, 4 – генератор пены, 5 – кран сифонный, 6 – люк-лаз, 7 – понтон, 8 – патрубок приёмо-раздаточный, 9 – уплотняющий затвор, 10 – поплавок, 11 – направляющая, 12 – молниеприёмники, 13 – замерный люк, 14 – лестница шахтная, 15 – ограждение, 16 – хлопуша, 17 – система орошения, 18 – поплавковый уровнемер

Рисунок 1 – Резервуар РВСП-20000 (общий вид)

Вертикальный стальной резервуар, представленный на рисунке 2, оснащается различным вспомогательным оборудованием. 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.



Рисунок 2 – Внешний вид резервуара РВСП-20000

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.

Стенка резервуара выполнена из листовой стали в несколько поясов, всего поясов - восемь. Толщина стенки поясов по результатам прочностного расчёта принята следующая:

Толщина первого пояса – 18 мм, толщина второго пояса – 14 мм, толщина третьего пояса – 12 мм, толщина четвёртого и остальных поясов – 10,5 мм.

1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара

В соответствии с действующей нормативной документацией для изготовления вертикальных стальных резервуаров применяется спокойная или полуспокойная низкоуглеродистая или низколегированная сталь, временное сопротивление которой составляет до 686,5 МПа [7], [13]. Независимо от класса прочности применяемой стали, она должна позволять выполнять сварку с применением всех способов, которые перечислены нормативно-технической документацией [3], [7].

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

Сталь 09Г2С – конструкционная низколегированная сталь, химический состав которой представлен в таблице 1, а механические свойства – в таблице 2. Они обусловили широкое применение этой стали 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

С	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. 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 [8].

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 [20].

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 [9].

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 [16].

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 Описание операций при выполнении сварки на строительстве вертикального резервуара

1.3.1 Технологические условия на изготовление и приёмку

Все исходные материалы (материалы для сварных конструкций, флюс, сварочная проволока и защитный газ) должны быть снабжены сертификатами завода-поставщика, при их отсутствии материалы не могут быть допущены в производство без предварительного испытания с целью установления соответствия материала требованиям стандартов или технических условий на поставку данного материала. «Испытания исходных материалов производятся также по усмотрению ОТК в случае обнаружения в процессе производства сварных конструкций отклонений свойств материалов от заявленных данных.

Конструктивные размеры разделок кромок свариваемых деталей и конструктивные размеры сварных швов должны соответствовать ГОСТ14771-76.

Сварные конструкции должны изготавливаться в соответствии с чертежами, техническими условиями, государственными и отраслевыми стандартами.

Все детали, поступающие на сборку под сварку должны быть отрихтованы. Неплоскостность, непрямолинейность не должны превышать 3 мм на 1 погонный метр, если в чертежах деталей нет указаний на более высокую точность.

На свариваемых поверхностях и в зазорах между деталями, собранными под сварку, а также в околошовной зоне шириной не менее 20 мм не допускается наличие масла, ржавчины, окалины, грата, грязи и влаги.

Сборка деталей и узлов под сварку должна производиться в специальных (или универсальных) сборочно-сварочных приспособлениях,

установках или стендах обеспечивающих изготовление сварных узлов в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

Сварочное оборудование должно соответствовать паспортным данным, а также оснащено контрольно-измерительными и регулируемыми приборами, обеспечивающими установление, соблюдение и проверку требуемых режимов сварки» [12].

Швы сварных соединений должны быть очищены от шлака и брызг металла.

На каждой сварной конструкции должно быть «клеймо сварщика, выполнившего сварку.

Контроль качества сварных соединений включает:

- предварительный контроль;
- операционный контроль;
- окончательный контроль.

При предварительном контроле проверяется:

- квалификация сварщиков;
- состояние сварочного оборудования, аппаратуры и сборочно-сварочной оснастки:

- комплектность технической документации;
- исходные материалы;
- измерительные приборы и инструмент.

При операционном контроле проверяется:

- подготовка деталей под сварку;
- качество сборки под сварку
- режимы сварки в процессе её выполнения.

При окончательном контроле проверяется:

- конструктивные размеры сварных швов (катет, величина усиления и т.д.) методом измерения» [12];

- качество сварных швов внешним осмотром (отсутствие подрезов, трещин, видимых непроваров, пор, не заваренных кратеров, наплывов), осмотр проводится с применением 4х – кратной лупы.

1.3.2 Заготовительные операции

Стенка резервуара изготавливаются из листового проката ГОСТ 19903 толщиной 18, 14, 12 и 10 мм . Листы металла подаются на участок где они подвергаются правке на многовалковых правильных машинах.

Далее листы отправляют на фрезеровочный станок для скоса кромок под сварку, после чего листы проходят гибку на трех валковых листогибочных машинах.

Листы должны быть проконтролированы на соответствие их формы и разделки кромок проектным.

Полученные листы упаковываются и отправляются к месту монтажа.

Все операции заготовительного производства (правка, гибка, очистка и подготовка поверхностей) производятся с помощью стандартного оборудования и инструмента.

При выполнении заготовительной операции гибки, для получения цилиндрической поверхности обечайки подогрев не требуется, что объясняется довольно большим радиусомгиба.

Заготовительные операции при производстве деталей стенки резервуара являются довольно технологичными т.к. детали не имеют сложных геометрических форм и не требуют разметочных операций, резка листов также исключена за счет того что используется лист заготовка с размерами сходными с размерами конечного изделия.

Фрезерование кромок позволяет получить высокую точность геометрических размеров в сочетании с высокой производительностью.

1.3.3 Сборочные операции

С позиции сборки конструкция является технологичной, так как детали удобно фиксируются друг относительно друга. Места стыковки свариваемых деталей доступны для выполнения прихваток, что обеспечивает удобство при сборке деталей.

Однако сборка стеки при помощи скоб и клиньев является не лучшим вариантом т.к. приходится приваривать к стенки и к окрайке специальные петли что приводит к ожогу основного металла и может быть концентраторами напряжений и коррозии, так же приварка и последующее удаление петель требует дополнительных затрат времени и дополнительные расходы на сварочные материалы.

При сборке резервуаров большой вместимости в полевых условиях на данный момент является единственным методом позволяющим производить листовую сборку резервуара.

1.3.4. Сварочные операции

Первыми сварке подлежат вертикальные сварные соединения стенки.

К сварке вертикальных сварных соединений стенки следует приступать после сборки, контроля основных параметров кромок стыков, проверки вертикальности стенки, приемки и жесткого закрепления не менее четырех листов пояса.

Сварку вертикальных соединений выполняется в соответствии с указаниями проекта производства монтажно-сварочных работ и на режимах, представленных в технологических картах.

После выполнения двух проходов шва при механизированной сварке с одной стороны следует выполнить зашлифовку корня шва с обратной стороны до чистого бездефектного металла.

Сварку горизонтальных соединений между поясами стенки следует выполнять после завершения сварки вертикальных стыков стенки в смежных поясах.

Площадь сечения каждого прохода при сварке горизонтальных швов стенки должна быть не более 50 мм^2 . Максимальная ширина каждого прохода горизонтального шва составляет не более 14 мм.

Сварные швы стенки, подлежащие ультразвуковой дефектоскопии, должны иметь гладкую поверхность со стороны противоположной от поверхности сканирования. Высота впадин между отдельными проходами облицовочного слоя шва не должна превышать 0,3 мм.

Толщина сварных соединений 10...18 мм, что позволяет сваривать детали между собой без каких либо проблем. Места стыков доступны для попадания сварочной головки, все сварные швы выполняются в удобном для сварки положении. Так же для выполнения всех сварных швов не требуется кантовок.

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.

1.4 Выбор метода возведения резервуара

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 3. 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 3 – Возведение резервуара полистовым методом (метод 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 4. 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.

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

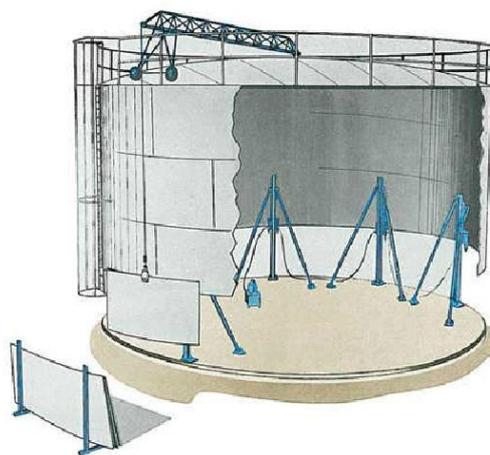


Рисунок 4 – Возведение резервуара методом подращивания

Третьим методом является метод рулонирования, представленный на рисунке 5. 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.

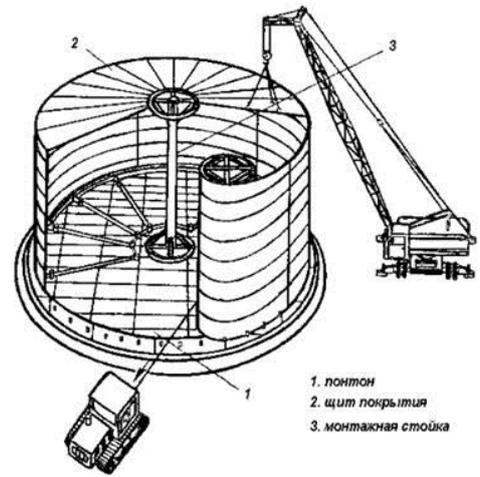


Рисунок 5 – Возведение вертикального стального резервуара рулонным методом

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.

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого метода возведения резервуаров принимаем решение при построении проектной технологии применить полистовой метод.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

При строительстве вертикального резервуара по проектной технологии предусматривается применением ручной дуговой сварки и механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения.

Выполнение горизонтальных стыков с использованием механизированной сварки в среде углекислого газа сильно увеличивает сроки строительства, и ухудшает качество выполнения сварных швов.

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.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы:

- обоснование замены применяемых по базовой технологии способов сварки на более производительные и обеспечивающие высокое качество сварных швов;
- выбор сварочного оборудования, материалов и оптимальных параметров режима сварки для построения проектной технологии сборки и сварки резервуара;
- составление проектного технологического процесса сборки и сварки резервуара РВСП-20000.

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 выполнения сварочных работ при возведении резервуара

2.1 Обоснование выбора способа сварки

С учётом требования нормативной документации [12] следует выделить такие способы сварки, как:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами (в основном при сварке резервуаров малого объёма, но продолжает широко применяться);
- механизированная сварка порошковой проволокой в защитном газе;
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов;
- механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой;
- автоматическая сварка под флюсом (соединение полотнищ днища);
- автоматическая сварка в защитных газах или самозащитной порошковой проволокой с использованием самоходных кареток (соединение полотнищ днища).

В числе преимуществ ручной дуговой сварки штучными электродами следует отметить [15]: простоту и дешевизну технологического оборудования, составление технологии сварки не требует глубоких профессиональных знаний и метрологического обеспечения.

Ручная электродуговая сварка штучными электродами в настоящее время нашла широкое применение при выполнении коротких швов длиной в конструкциях со стыковыми, тавровыми и нахлесточными соединениями. Толщина свариваемого металла может быть 2...50 мм, при этом возможна сварка как без разделки кромок (для малых толщин), так и с разделкой кромок (для больших толщин). Также ручная дуговая сварка штучными электродами применяется при исправлении дефектов сварки, в том числе, и в сварных швах, выполненных другими способами сварки [1], [15].

В качестве первого недостатка ручной дуговой сварки, следует отметить малую производительность выполнения сварочных работ. Вторым недостатком следует признать работу сварщика в тяжёлых условиях, которые приводят к возникновению профессиональных заболеваний и заставляют увеличивать расходы на обеспечение безопасности персонала. Третьим недостатком 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.

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 [12] 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 [10], [11]: 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 [2], [4], [5], [10], [11]. 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. Как показала практика использования сварки с применением порошковой самозащитной проволоки, внедрение этого прогрессивного способа сварки позволяет получить экономию легирующих металлов [14], [19]. Это объясняется значительно большим коэффициентом перехода легирующих элементов по сравнению со сваркой штучными электродами. Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика.

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.

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 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.

Анализ рассмотренных способов сварки выполним с применением экспертной оценки по следующим критериям, представленным в таблице 4: производительность, качество сварных соединений, стоимость и сложность оборудования, стоимость сварочных материалов, условия труда сварщика, манёвренность способа сварки.

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	3	1	4
ИТОГО:	14	16	13	18

На основании данных таблицы 4 можно заключить, что самую высокую экспертную получила автоматическая сварка под флюсом.. Поэтому для построения проектной технологии применим этот способ сварки..

2.2 Общие требования к выполнению сварочных операций

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» [12].

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

2.3 Описание сварочных операций при возведении резервуара

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

- сборка и частичная сварка днища резервуара;

- монтаж и частичная сварка первых трёх поясов стенки резервуара;
- сварка уторного шва;
- доварка днища резервуара;
- монтаж и сварка поясов стенки резервуара.

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, как показано на рисунке 6, 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. Зачистить прихватки от шлака и брызг. Прихватки зашлифовать. Смещение кромок – не более 1,0 мм. Длина прихватки 50 мм, шаг 300 мм. При сборке использовать клинья, как показано на рисунке 7.

Сварку выполнять двойным слоем обратноступенчатым методом секциями по 700 мм по направлению от центра к краям, как на рисунке 8. 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.

Параметры режима механизированной сварки в защитном газе приведены в таблице 3.

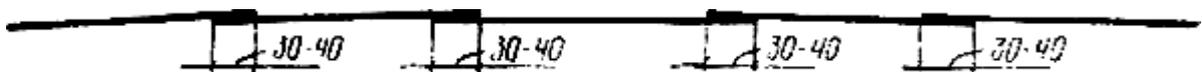
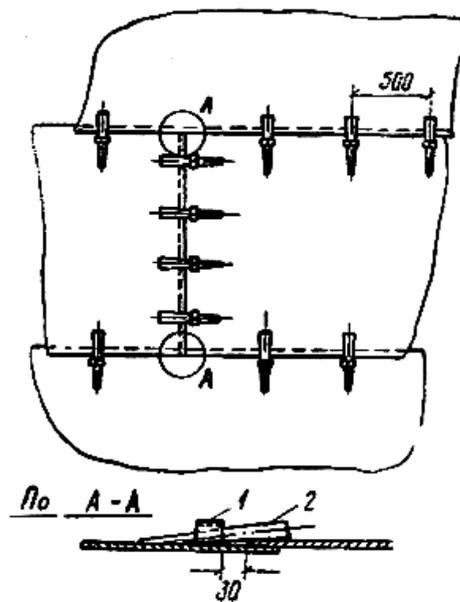


Рисунок 6 – Схема соединения листов в полосе при выполнении днища вертикального резервуара [12]



1 - уголок; 2- клин

Рисунок 7 - Применение стяжных клиновых приспособлений при сборке дна вертикального резервуара

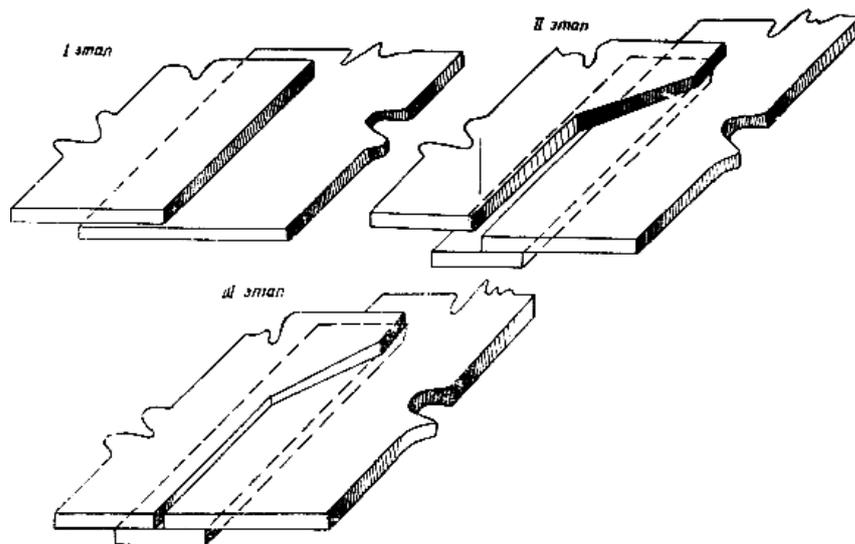
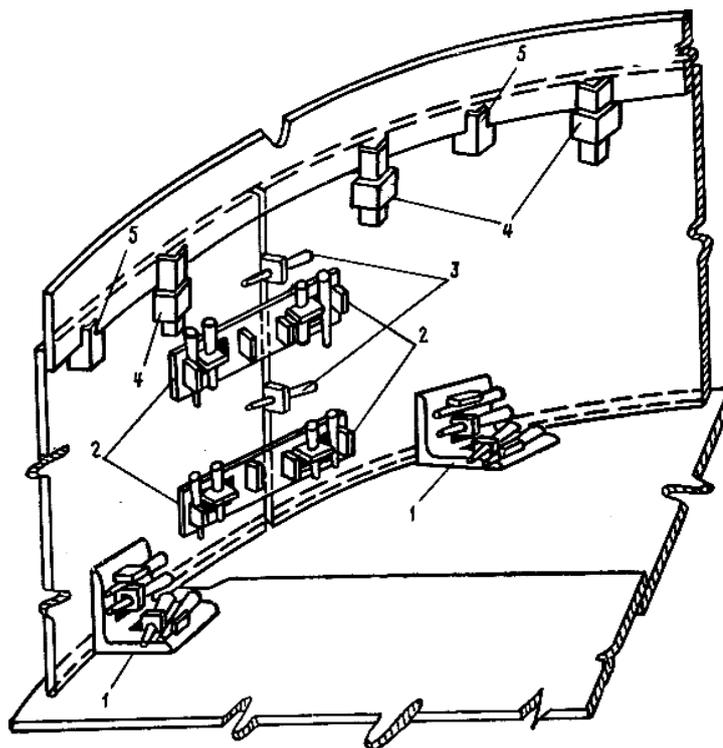


Рисунок 8 – Этапы сборки окраек на подкладке при изготовлении дна вертикального резервуара

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 9, 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 9 – 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 $+5...-5$ °С, температура предварительного нагрева составляет 75 °С. Если температура окружающего воздуха $-5...-20$ °С, температура предварительного нагрева составляет 100 °С. Если температура окружающего воздуха меньше -20 °С, температура предварительного подогрева составляет 150 °С.

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. Зачлифовать 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 5. При сварке применяется проволока L-56, состав которой представлен в таблице 6. 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.

Таблица 5 – Параметры режима автоматической сварки под флюсом горизонтальных стыков резервуара

Номер слоя (шва)	Диаметр проволоки, мм	Род и полярность тока	Скорость сварки м/ч	Напряжение, (на подающем механизме), В	Вылет электрода, мм
Заполняющие	3,0(3,2)	постоянный, прямая	50-70	26-29	32-35
Облицовочные	3,0(3,2)	постоянный, прямая	60-80	30-32	32-35

Таблица 6 – Химический состав сварочной проволоки L-56

C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	V	Cu	P	S
0,08-0,09	1,42-1,62	0,81-0,87	≤0,04	0,01-0,05	≤0,01	≤0,01	0,17-0,22	≤0,010	≤0,010

В качестве сварочного флюса используем флюс АН-348-А. В качестве сварочной проволоки – проволоку Св-08ГА диаметром 3,0 мм по ГОСТ 2246–70.

Для механизированной сварки применим проволоку L-56 диаметром 1,14 мм. В качестве защитного газа применяется углекислый газ I сорта по ГОСТ 8050–76.

2.4 Оборудование для выполнения сварочных операций

Для выполнения автоматической сварки кольцевых швов предложено применить установку AGW-I, представленную на рисунке 10, позволяющей выполнять сварку поясов толщиной от 8 до 45 мм. Установка AGW-I (Automatic Girth Welder) производства фирмы Koike Aronson – Ransome

построена на базе сварочного оборудования фирмы Lincoln Electric. Используются сварочные головки NA-3, представленные на рисунке 11а, и сварочные выпрямители DC-600, представленные на рисунке 11б.



Рисунок 10 – Сварка горизонтального стыка с использованием установки AGW-I



Рисунок 11 – Комплектация сварочной установки AGW-I: головка NA-3 (а) и выпрямители DC-600 (б)



Рисунок 12 – Сварочный полуавтомат Power Wave S500



Рисунок 13 – Портативная каретка Universal для сварки вертикальных стыков резервуаров

Для выполнения механизированной сварки вертикальных стыков резервуаров предложено применять полуавтомат Power Wave S500, представленный на рисунке 12 производства фирмы Lincoln Electric, оснащённый механизмом подачи проволоки PF-46.

Для выполнения автоматической сварки вертикальных швов предложено применять сварочную каретку Universal производства BUG-O-MATIC. Данная каретка, представленная на рисунке 13, оснащена системой поперечных колебаний и является универсальным, портативным, простым в использовании механизмом.

2.5 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.

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.

Выводы по второму разделу

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

- обоснование замены применяемых по базовой технологии способов сварки на более производительные и обеспечивающие высокое качество сварных швов;

- выбор сварочного оборудования, материалов и оптимальных параметров режима сварки для построения проектной технологии сборки и сварки резервуара;

- составление проектного технологического процесса сборки и сварки резервуара РВСП-20000.

При анализе возможных способов сварки днища вертикального резервуара были рассмотрены:

- 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 принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе автоматической сварки под флюсом.

При решении второй задачи было предложено использование сварочного оборудования производства Lincoln Electric.

Решая третью задачу составлен проектный технологический процесс, предусматривающий выполнение следующих операций: сборка и частичная сварка днища резервуара, монтаж и частичная сварка первых трёх поясов стенки резервуара, сварка уторного шва, доварка днища резервуара, монтаж и сварка поясов стенки резервуара.

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 РВСП-20000.

Проектная технология сварки резервуара укрупнённо представлена следующими операциями:

- сборка и частичная сварка днища резервуара;
- монтаж и частичная сварка первых трёх поясов 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 Power Wave S500, - механизм подачи PF-46, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока SuperArc L-56 \varnothing 1,14 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 Power Wave S500, - механизм подачи PF-46, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока SuperArc L-56 \varnothing 1,14 мм, - защитный газ - рулетка, - чертилка, - чертилка, - упоры приварные
3) сварка уторного шва	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания DC-600, - сварочная головка NA-3 Aristo Feed 3004, - система автоматической сварки AGW-I, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока SuperArc L-56 \varnothing 1,14 мм, - защитный газ
4) доварка днища резервуара	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Power Wave S500, - механизм подачи PF-46, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока SuperArc L-56 \varnothing 1,14 мм, - защитный газ
5) монтаж и сварка поясов стенки резервуара	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания DC-600, - сварочная головка NA-3 Aristo Feed 3004, - система автоматической сварки AGW-I, - набор визуально-измерительного контроля - аппарат УЗК	- сварочная проволока SuperArc L-56 \varnothing 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.

Таким образом, реализация в производстве проектной технологии, операции которой подробно описаны в настоящей выпускной квалификационной работе, сопровождается опасными и вредными производственными факторами. Источниками этих опасных и вредных производственных факторов является применяемое технологическое оборудование и другие объекты производства. Эти источники были приведены и проанализированы выше при идентификации опасных и вредных производственных факторов.

На основании анализа профессиональных рисков, возникающих при воздействии описанных производственных факторов предложены стандартные мероприятия и средства защиты, которые позволяют полностью устранить влияние опасного фактора. Приведённые мероприятия и меры защиты позволили также снизить влияние вредных производственных факторов до приемлемого уровня.

Предложенные меры позволили исключить травматизм при реализации проектного технологического процесса и защитить работника от получения профессиональных заболеваний.

Однако осуществление проектной технологии предусматривает не только возникновение опасных и вредных факторов, влияющих на участников производственного процесса. Негативному воздействию подвергается окружающая среда. Таким образом, технологический процесс может представлять угрозу за счёт возникновения неблагоприятных экологических факторов (загрязнение воздуха, гидросферы и литосферы).

Кроме того, нормальное протекание технологического процесса может нарушаться при возникновении пожара, который становится ещё одним фактором отрицательного влияния на окружающую среду и участников производства (работающий персонал, производственные здания и оборудование).

Изучению вопроса экологической и пожарной безопасности посвящена вторая половина настоящего раздела выпускной квалификационной работы.

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 на примере резервуара РВСП-20000.

Проектная технология сварки резервуара укрупнённо представлена следующими операциями:

- сборка и частичная сварка днища резервуара;
- монтаж и частичная сварка первых трёх поясов 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 под флюсом.

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.	1100 тыс.	4200 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	$C_{\text{экс}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	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	E_n	-	0,33	0,33

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.

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 17: 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 $t_{\text{маш}}$; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени $t_{\text{всп}}$; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования) $t_{\text{обсл}}$; времени $t_{\text{отд}}$ на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени $t_{\text{п-з}}$:

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

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

$$t_{\text{шт.баз}} = 360 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 630 \text{ ч.}$$

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

Годовая программа Π_{Γ} выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$ и согласно (3) штучного времени $t_{\text{шт}}$:

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

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

$$\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/630 = 3 \text{ резервуара за год;}$$

$$\Pi_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/157 = 13 \text{ резервуаров за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 3$ резервуаров в год.

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

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

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

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{630 \cdot 3}{2054 \cdot 1,03} = 0,9, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{157 \cdot 3}{2054 \cdot 1,03} = 0,4.$$

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:

$$K_{3б} = 0,9/1 = 0,5, \quad K_{3п} = 0,4/1 = 0,4.$$

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 $K_{т-з}$ транспортно-заготовительных расходов:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{т-з}, \quad (7)$$

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

$$M_b = (1900 \text{ кг} \cdot 110 \text{ р/кг} + 2100 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 12000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 455000 \text{ руб.},$$

$$M_{пр} = (4000 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 18000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 420000 \text{ руб.}$$

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:

$$Z_{осн.баз.} = 630 \cdot 200 \cdot 1,88 = 236880 \text{ руб.},$$

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

Объём дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента $K_{доп}$ дополнительных доплат ($K_{доп} = 12 \%$):

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

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

$$Z_{доп.базов.} = 236880 \cdot 12/100 = 28425 \text{ руб.},$$

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

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

$$\Phi ЗП_{базов.} = 236880 + 28425 = 265305 \text{ руб.},$$

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

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:

$$O_{\text{сс}_{\text{баз.}}} = 265305 \cdot 34 / 100 = 90203 \text{ руб.},$$

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

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 $A_{\text{об}}$ амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования $C_{\text{об}}$, нормы амортизации $H_{\text{а}}$, машинного времени $t_{\text{маш}}$, и эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$ с использованием зависимости:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

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

$$A_{\text{об. баз.}} = 1100000 \cdot 21,5 \cdot 630 / 2054 / 100 = 72538 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 4200000 \cdot 21,5 \cdot 90 / 2054 / 100 = 39566 \text{ руб.}$$

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

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

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

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

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

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

$$Z_{\text{об баз.}} = 72538 + 8777 = 81315 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 39566 + 6776 = 46342 \text{ руб.}$$

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

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}} \quad (14)$$

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 455000 + 265305 + 90203 + 81315 = 891823 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 420000 + 66115 + 22480 + 46342 = 554937 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 891823 + 1,5 \cdot 236880 = 891823 + 355320 = 1247143 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 554937 + 1,5 \cdot 59032 = 554937 + 88548 = 643485 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 1247143 + 1,15 \cdot 236880 = 1247143 + 272412 = 1519555 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 643485 + 1,15 \cdot 59032 = 643485 + 67887 = 711372 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 18.

Таблица 18 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	M	455000	420000
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	265305	66115
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{\text{СН}}$	90203	22480
4. Затраты на оборудование	$Z_{\text{об}}$	81315	46342
5. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	891823	554937
6. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	355320	88548
7. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	1247143	643485
8. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	272412	67887
9. Заводская себестоимость	$C_{\text{зав}}$	1519555	711372

Таким образом, на основании данных таблицы 18 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:

$$\Pi_{\text{ОБ.Баз.}} = 1100000 - (1100000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 627000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 627000 \cdot 0,9 = 564300 \text{ руб.}$$

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 $\Pi_{\text{об. пр.}}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{зп}}$ по проектному варианту:

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

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

$$K_{\text{об.пр.}} = 4200000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 1764000 \text{ руб.}$$

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:

$$K_{\text{дем}} = 564300 \cdot 0,05 = 28200 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 4200000 \cdot 0,05 = 210000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп.}} = 28200 + 210000 = 238200 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ.пр.}} = 1764000 + 238200 = 2002200 \text{ руб.}$$

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:

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

$$K_{\text{доп}} = 2002200 - 564300 = 1437900 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений $K_{уд}$ рассчитываем с учётом годовой программы Π_T :

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{\Pi_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 564300/3 = 188100 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{удПроектн.} = 2002200/3 = 667400 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Показатели экономической эффективности

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

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

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{630 - 157}{630} \cdot 100\% = 75\%$$

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

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

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 75}{100 - 75} = 300\%$$

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:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{891823 - 554937}{891823} \cdot 100\% = 37\%$$

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

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

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

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (1519555 - 711372) \cdot 3 = 2424549 \text{ руб.}$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уГ}}} \quad (30)$$

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

$$T_{\text{ок}} = 1437900 / 2424549 = 0,6 \text{ лет}$$

Годовой экономический эффект Э_{Γ} , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

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

$$\text{ЭГ} = 2424549 - 0,33 \cdot 143790 = 1950042 \text{ руб.}$$

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 под флюсом. 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 75 %, повышение производительности труда на 300 %, уменьшение технологической себестоимости на 37 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 2,424 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,95 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,6 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных операций при монтаже вертикальных стальных резервуаров на примере резервуара РВСП 20000.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется ручная дуговая сварка и механизированная сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения. 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.

На основании анализа преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе автоматической сварки под флюсом.

Технология предусматривает последовательное выполнение операций: сборка и частичная сварка днища резервуара, монтаж и частичная сварка первых трёх поясов стенки резервуара, сварка уторного шва, доварка днища резервуара, монтаж и сварка поясов стенки резервуара.

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 1,95 млн. рублей.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели. Полученные результаты предлагается внедрить при строительстве резервуарных парков.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белинский С. М., Гарбуль А. Ф., Гусаковский В. Г. Оборудование для дуговой сварки : справ. пособие. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
2. Верёвкин А. А. Повышение эффективности сварки в CO_2 неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Томский политехнический университет. 2010.
3. 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.
4. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48-52.
5. Крампит А. Г. Разработка и исследование процесса сварки в CO_2 в щелевую разделку при импульсном питании : диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, Юрга: Томский политехнический университет. 2003.
6. Кондрашова О. Г., Назарова М. Н. Причино-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2004. № 2. С. 21–29.
7. ПБ 03-605-03 Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов
8. Пермяков М. Б., Мышинский М. И. Повышение длительных эксплуатационных свойств металла зон сварных тавровых соединений большепролётных подкрановых балок // European Science. № 2 С. 17–20.
9. Пермяков М. Б., Чернышова Э. П., Кришан А. Л. Актуальные проблемы строительства: монография. Магнитогорск, 2013. 139 с.

10. 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.
11. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнология, 2007. 192 с.
12. РД 25.160.10-КТН-001-12 Инструкция по технологии сварки при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. 2011. 216 с.
13. РД 39-138-95. Нормы технологического проектирования резервуарных парков СУГ М. : Роснефть, 1995. 149 с.
14. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.
15. 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.
16. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
17. Швырков С. А., Горячев С. А., Сорокоумов В. П. Статистика квазимгновенных разрушений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. 2007. № 6. С. 48–52.
18. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 8–11.
19. 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.

20. Chernyshova E. P., Permyakov M. B. Architectural Town-Planning Factor and Color Environment // World Applied Sciences Journal. 2017. № 7. P. 371–384.