

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

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

«Современные технологические процессы изготовления деталей
в машиностроении»
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления корпуса
железнодорожной цистерны

Студент

Н.А. Чураков
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент Д.И. Плахотный
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент О.М. Сярдова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

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

Тольятти 2021

Аннотация

Массовый выпуск вагонов-цистерн должен предполагать универсальность применяемого оборудования и возможность его быстрой переналадки на выпуск новых модификаций вагонов. Это является основой конкурентоспособности производства и его рентабельности, при этом наиболее сложной операцией является изготовление листовых полотнищ обечаек котлов и их соединение, которая требует применения металлоёмкого сложного оборудования.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки котлов железнодорожных вагонов-цистерн.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- обосновать выбор и применение способа автоматической сварки конструкции котла вагона-цистерны;

- составить проектную технологию сварки с применением выбранного способа сварки (последовательность выполнения технологических операций, применяемое сварочное и вспомогательное оборудование, назначение параметров режима сварки, контроль качества).

Был обоснован выбор сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения как основной способ при механизированной сварке люка, простановке прихваток и автоматической сварке продольных и кольцевых швов. Была составлена проектная технология сварки и выполнена планировка участка сборки и сварки котла вагона-цистерны.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,636 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

Abstract

The title of the graduation work is «Technological process of manufacturing the body of a railway tank».

The mass production of tank cars should imply the versatility of the equipment used and the possibility of its quick changeover for the production of new modifications of cars. This is the basis for the competitiveness of production and its profitability, while the most difficult operation is the manufacture of sheet panels of boiler shells and their connection, which requires the use of metal-intensive complex equipment.

The aim of the work is to increase productivity and quality of welding of boilers of railway tank.

The following tasks have been solved:

- justify the choice and application of the welding method for the product;
- draw up a design welding technology.

The choice of gas-shielded welding with solid wire as the main method for mechanized hatch welding, tack welding and automatic welding of longitudinal and circumferential seams was justified. The design welding technology was drawn up and the layout of the assembly and welding area of the tank car boiler was performed.

The analysis of the design technology of repair welding for the presence of dangerous and harmful production factors is performed.

The calculated annual economic effect, taking into account capital investments, is 0,636 million rubles.

Содержание

Введение	6
1 Анализ исходных данных и известных решений в области изготовления цистерн.	8
1.1 Сведения о конструкции котла цистерны.	8
1.2 Сведения о материале котла цистерны	10
1.3 Базовый технологический процесс сборки и сварки котла цистерны	12
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	19
2 Проектная технология сварки котла цистерны.	20
2.1 Обоснование выбора способа сварки	20
2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.	25
2.3 Описание операций технологического процесса.	27
2.4 Описание сварочного оборудования и сварочных материалов	30
2.5 Контроль качества сварочных работ	33
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	35
3.1 Технологическая характеристика объекта	35
3.2 Идентификация профессиональных рисков	37
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	39
3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.	40
3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта	42
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии.	43
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений	44
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	46

4.3 Расчет штучного времени	47
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	49
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	53
4.6 Показатели экономической эффективности.	56
Заключение	59
Список используемой литературы и используемых источников	60

Введение

В мире перевозка наливных продуктов (химические реагенты, нефтепродукты и пр.) осуществляется в основном железнодорожным транспортом с применением вагонов-цистерн. В связи с этим массовый характер носит производство вагонов-цистерн. Конструкция вагонов-цистерн претерпевает значительные изменения, в настоящее время вводятся в эксплуатацию вагоны нового поколения, которые обладают повышенными характеристиками и надёжностью по сравнению с ранее применяемыми вагонами-цистернами [7]. Проектирование и производство вагонов предусматривает решение ряда сложных технических задач, связанных с разработкой и обеспечением нормальной работы всех подсистем вагона. К таким составляющим подсистемам относятся: механическая, электрическая, теплотехническая и другие подсистемы [8], [18], [19].

Массовый выпуск вагонов-цистерн должен предполагать универсальность применяемого оборудования и возможность его быстрой переналадки на выпуск новых модификаций вагонов. Это является основой конкурентоспособности производства и его рентабельности, при этом наиболее сложной операцией является изготовление листовых полотнищ обечаек котлов и их соединение, которая требует применения металлоёмкого сложного оборудования [10].

Объём вагонов-цистерн колеблется в широких пределах. Первые цистерны, изготовление которых началось в конце XIX века, имели объём 15...20 м³ [6], современные 8-осные цистерны имеют объём до 120 м³.

Котёл вагона-цистерны – ёмкость цилиндрической формы, которая имеет днища с обеих сторон, закрывающие ёмкость с боков. Специальные цистерны могут быть снабжены теплоизоляционным покрытием или подогревающим оборудованием. В настоящее время можно выделить два направления развития железнодорожных цистерн – рамные цистерны и цистерны с цельнонесущей конструкцией. В первом случае ёмкость с

перевозимым продуктом укладывается на металлическую раму и продольные нагрузки не воспринимает. Во втором случае конструкция вагоно-цистерны безрамная, при этом сама цистерна воспринимает и передаёт усилия, возникающие при движении состава.

Мировой экономический кризис, продолжающийся с начала 21-го века, привел к снижению спроса на грузовые вагоны. Во-первых, это выражается в снижении объёмов перевозимых грузов. Во-вторых, наблюдается качественное ухудшение подвижного состава – потребитель отказывается от применения современных вагонов из-за дороговизны.

От качества выполнения сварных швов в вагонах-цистернах в значительной мере зависит безопасность их эксплуатации [5], [13], [20], [26]. Железнодорожный транспорт является одной из самых металлоёмких отраслей промышленности. Надёжность и долговечность вагонов-цистерн определяется не только технологиями, но и качеством конструкционных материалов, используемых для изготовления [9], [27]. Внедрение новых материалов, к которым относятся высокопрочные и коррозионностойкие стали, алюминиевые сплавы, позволяет существенно снизить массу вагона и увеличить его полезную загрузку [2].

Осуществление комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в сборочно-сварочных производственных цехах без применения стандартных приспособлений и модернизации оборудования на сегодняшний день невозможно. Разнообразные кантователи, вращатели, сборочные стенды, цеховые краны, установки для механической обработки, контроля качества сварных изделий и другое оборудование применяется для механизированного производства сварных изделий.

В связи с этим актуальной является цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки котлов железнодорожных вагонов-цистерн. Достижение поставленной цели должно основываться на современных разработках в области сварки и применении перспективных конструкционных материалов.

1 Анализ исходных данных и известных решений в области изготовления цистерн

1.1 Сведения о конструкции котла цистерны

Вагон-цистерна представляет собой емкостную конструкцию на несущей раме. Назначение вагона-цистерны, показанной на рисунке 1 – хранение и перевозка нефтепродуктов.

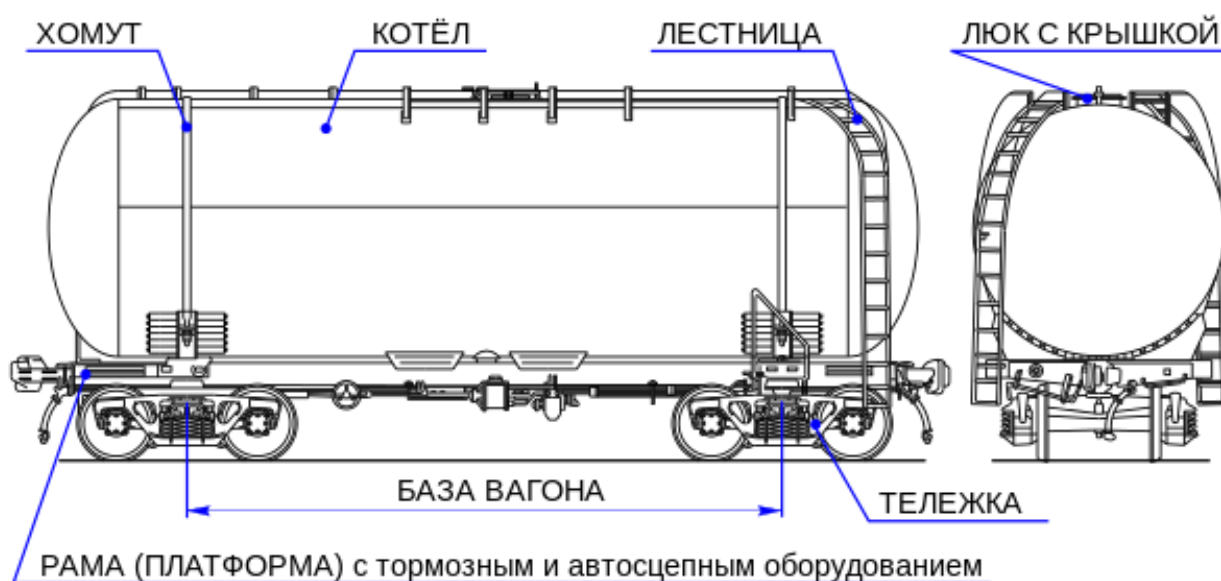
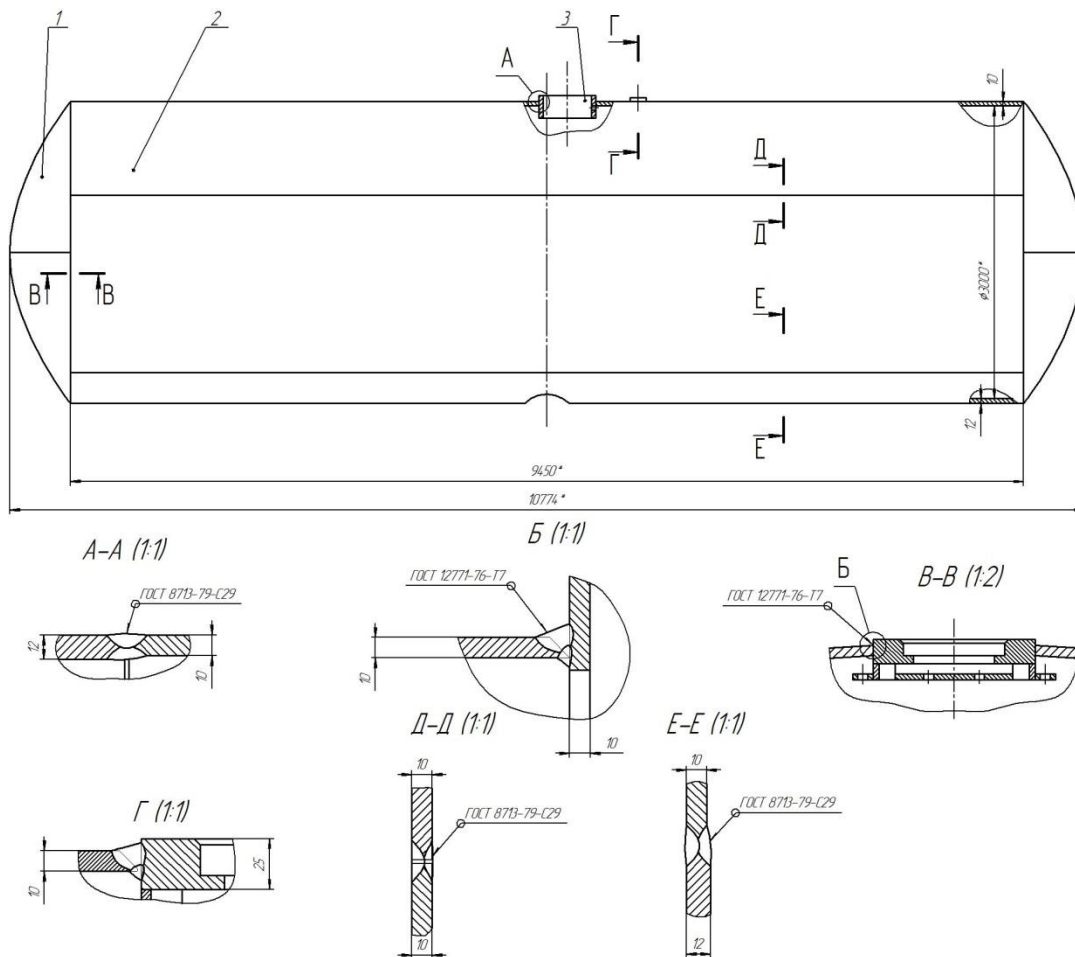


Рисунок 1 – Общая компоновка вагона-цистерны

Сварной котёл вагона-цистерны изготовлен из цельных продольных листов металла. Конструктивно котёл вагона-цистерны состоит из четырёх элементов, показанных на рисунке 2: два днища – 1, одна сварная обечайка – 2, один люк – 3. Обечайка имеет продольные швы, а днища соединены с обечайкой при помощи кольцевых швов.

Днища и нижняя часть обечайки выполнены из листов толщиной 12 мм. Верхняя часть обечайки котла выполнена из листов толщиной 10 мм.

Крепление котла на несущей раме осуществляется при помощи стягивающих хомутов.



1 – днище; 2 – сварная обечайка; 3 – люк

Рисунок 2 – Конструкция котла вагона-цистерны

При изготовлении цистерны можно использовать стандартное оборудование и материалы, изготовление сосуда возможно при помощи механизации и автоматизации. Использование поточных линий, оснащённых оборудованием и устройствами для транспортировки существенно сократило время на производство. Места необходимые под сварку легко доступны сварщику для осуществления сварочных работ.

Производительность операций можно повысить автоматической сваркой под слоем флюса для продольного шва обечайки и кольцевых швов при сварке днищ.

Исходя из этих критериев, данную конструкцию можно считать технологической.

1.2 Сведения о материале котла цистерны

Материалом для изготовления сварной цистерны, является сталь 09Г2С, сталь конструкционная низколегированная.

Механические свойства стали 09Г2С согласно таблицы 1 обуславливают её широкое применение при изготовлении ответственных металлических конструкций, содержащих сварные швы. 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.

Механические свойства и химический состав стали 09Г2С приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Механические свойства стали 09Г2С в соответствии с ГОСТ 19282-73

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %
460	300	31

При сварке конструкций из стали 09Г2С нет необходимости применять предварительный подогрев или проводить термическую обработку, т.е. сталь 09Г2С сваривается без ограничений всеми способами сварки.

Реакция стали 09Г2С на термический цикл при сварке, отличающаяся от реакции обычной низкоуглеродистой стали [30], обуславливается химическим составом стали 09Г2С, приведённым в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав стали 09Г2С в соответствии с ГОСТ 2591-2006

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

При сварке конструкций из стали 09Г2С в металле сварного шва и околошовной зоне в повышение скорости охлаждения может привести к образованию закалочных структур. При этом кроме феррита и перлита может образовываться мартенсит, бейнит и остаточный аустенит. В зависимости от температурного цикла содержание этих структур в стали существенно изменяется. Если погонная энергия сварки уменьшается, повышается количество и дисперсность мартенсита, бейнита и остаточного аустенита.

Образующиеся при сварке стали 09Г2С могут незначительно влиять на свойства сварных соединений, если они равномерно расположены и дезориентированы в ферритной основе металла. Однако при росте скорости охлаждения количество закалочных структур увеличивается, что приводит к резкому уменьшению пластичности металла и снижению его стойкости хрупкому разрушению. 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.

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.

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.

1.3 Базовый технологический процесс сборки и сварки котла цистерны

Предъявляются следующие технические требования к исходным заготовкам [3], [4]:

- на поверхности листа не допускаются дефекты в виде: раковин, сквозных разрывов, загрязнений, вкатанных окалин, вздутий, трещин;

- допускаемые дефекты: волнистость и прогиб не более 12 мм, в противном случае необходима дополнительная правка листа;

- устранение поверхностных дефектов проводится зачисткой (допустимое уменьшение толщины листа 0,25-0,4 мм);

- на обрезных кромках проката не допускается расслоение, трещины, разрывы;

- для контроля качества листа, его поверхности, берут все листы, качество поверхности контролируется визуально без применения увеличительных приборов;

- для контроля размеров листа отбирают каждую десятую заготовку из партии;

- расслоение контролируется осмотром кромок.

К сварочной проволоке предъявляются следующие требования [3], [4]:

- предельное отклонение диаметра от номинального 0,16 мм, допустимая овальность - 0,08 мм;

- на поверхности проволоки не допускается наличие: ржавчины, загрязнений, технологических смазок;

- проволока принимается техническим контролем предприятия.

В качестве электродной проволоки для сварки стали 09Г2С используем цельнотянутую сварочную проволоку Св-08Г2С, с целью обеспечения однородности (химической и механической) основного металла и металла сварного соединения. Основным требованием к электродным

проволокам является соответствие их химического состава ГОСТ 2246-70. Химический состав проволоки приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание химических элементов в проволоке Св-08Г2С

Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
1,8...2,1	0,7...0,95	< 0,20	< 0,25	< 0,20	< 0,03	< 0,025

С целью стабилизации сварного шва и улучшения технологических свойств, проволока покрывается слоем меди, образующей гладкую поверхность. На поверхности не допускаются следы ржавчины, загрязнений и технологических покрытий, за исключением следов мыльной смазки без графита и серы. Толщина медного покрытия на проволоке не менее 0,15 мкм, покрытие имеет прочное сцепление с основой.

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

Для обеспечения удовлетворительных свойств сварного изделия из стали 09Г2С целесообразно применять флюс марки ОСЦ-45 согласно таблицы 4, а в качестве защитного газа CO₂ по ГОСТ 8050-76.

Таблица 4 – Химический состав флюса ОСЦ-45

SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	CaF ₂	Fe ₂ O ₃	S	P
37...44	<6	37...44	<10	<3	5...9	0,5...2,0	<0,12	<0,14

Последовательность выполнения операций технологического процесса сборки и сварки котла цистерны принята с учетом непрерывности технологического процесса и минимизации транспортных операций.

Последовательность выполнения сборочно-сварочных операций:

- изготовление обечайки;
- вырезка отверстия в обечайке;
- сборка и сварка днища с обечайкой;
- сборка и сварка обечайки с горловиной;
- сборка и сварка фланца с горловиной;
- контроль-испытание котла цистерны.

В качестве исходной заготовки принимаем листы из стали 09Г2С с габаритными размерами 3550x10000 мм, толщиной 10 мм и 12 мм выбираем. Данную заготовку подвергают контролю качества величины деформации и кривизны поверхности

Допустимая величина деформации поверхности листа, лежащего на ровной поверхности на 1 метр его длины не более 2 мм (ГОСТ 16523-70). В случае превышения величины кривизны листа более, чем на 2 мм на погонный метр, лист подвергают правке на правильной машине.

Правку листов проводят на многовалковой листопрямительной машине, состоящей из двух горизонтальных рядов роликов равного диаметра, расположенных с одинаковым шагом. Затем повторяют контрольную операцию.

Разметку листов производят камеральным методом, при котором все размеры, определяющие конфигурацию размечаемой детали, устанавливаются различным путем и наносятся на разметочный эскиз.

Резку листа исходной заготовки производят на листовых ножницах с наклонным ножом Н3121.

Вальцовку цилиндрической обечайки производят на трехвалковой листогибочной машине Н2224.

Операцию вальцовки производим в несколько подходов, во время которых лист должен совершать возвратно-поступательное движение через валки.

После вальцовки заготовку при помощи консольного крана уложить на типовой роликовый стенд. Произвести выравнивание торцов обечайки при помощи стяжек. Закрепить до роликового стенда. Сварку и установку подкладки выполнить на прихватках в среде CO₂ полуавтоматом А-825М, источник питания ВСЖ-303. Параметры режима при выполнении прихваток приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры режима сварки при выполнении прихваток и механизированной сварке

Диаметр проволоки	Сварочный ток	Напряжение на дуге	Скорость подачи проволоки	Расход газа	Скорость сварки
мм	А	В	м/ч	л/мин	м/ч
1,6	240...260	30...32	230...240	12...14	40...45

Сварка обечайки производится на установке для сварки прямолинейных и кольцевых швов.

Сварка продольного шва обечайки выполняется проволокой Св-08Г2С автоматической сваркой под слоем флюса на флюсовой подушке, за один проход без разделки кромок на автомате А-1416 закреплённых на металлоконструкции для подвески аппаратов, устройству для перемещения аппарата вдоль обечайки при сварке. Источник питания ВДУ-1001. Процесс сварки осуществляют непрерывно по всей длине шва обечайки. Параметры сварки приведены в таблице 6.

По окончании сварки произвести зачистку поверхности шва с помощью машины ТПШ-1 от шлаковой корки и транспортировать обечайку для контроля качества.

Таблица 6 – Параметры режима автоматической сварки под флюсом

Параметр	Ток сварки	Напряжение на дуге	Скорость сварки	Диаметр проволоки
Единица измерения	А	В	м/ч	мм
Значение	850...870	36...38	4,5...4	5

Контроль качества производится двумя методами:

- визуальный контроль,
- контроль на герметичность.

Контролю внешним осмотром подвергнуть как сварочный шов, так и около шовную зону на расстоянии не менее 20 мм от границы шва. Внешний осмотр проводить с целью выявления дефектов, выходящих на поверхность, осмотр проводить с целью выявления дефектов, выходящих на поверхность, к которым относятся: трещины, наплывы, подрезы, шлаковые включения и не провары.

Визуальный контроль проводить в следующем порядке:

- провести контроль формы шва с помощью специальных шаблонов;
- провести контроль поверхности шва. Не допускать подрезы более 1 мм в глубину, непровары, кратеры, трещины;
- недопустимые дефекты устранить.

Контроль на герметичность проводить вакуумно-пузырьковым методом, при этом используя переносные вакуумные камеры-присоски, накладываемые уплотнители из губчатой резины на контролируемый участок.

После сборки обечайки и её сварки, перед сборкой обечайки с днищами, а также горловины и фланца произвести зачистку торцов от окалины, ржавчины и др. при помощи ручной пневматической зачистной машины ТПШ-1.

При сборке обечайка ставится на роликоопоры, а днище, подвешенное на специальных захватах, подводятся к обечайке и прижимаются к ней торцевыми прижимами, затем по секциям включаются прижимы, после чего днища прихватываются с обечайкой в среде CO_2 .

Сварка кольцевых швов производится автоматической сваркой под слоем флюса на остающейся подкладке без разделки кромок за один проход, проволока Св-08Г2С двумя автоматами А-1416 установленными на металлоконструкции для подвески аппаратов. Производится с помощью типового роликового стенда (ГОСТ 21327-75).

Разметку отверстия на корпусе производим по рабочим чертежам. При разметке должен учитываться припуск на механическую обработку 3-4 мм.

Вырезка отверстия осуществляется при помощи воздушно плазменной резки аппаратом Плр-50/250. После резки кромки зачищаются пневматической ручной машины ТПШ-1 до металлического блеска, после чего передается на следующую операцию.

Сварку горловины с фланцем производят после очистки их поверхности с помощью пневматической зачистной машины ТПШ-1, полуавтоматической сваркой в среде CO_2 сварочной проволокой Св-08Г2С. Установить горловину с фланцем на стол (план шайбу) манипулятора и произвести прихватку в 3-х - 4-х диаметрально противоположных точках. Затем произвести сварку кольцевого шва.

После сварки узлы снять с приспособления и транспортировать на следующую операцию.

Установить горловину с фланцем на корпус. Произвести взаимную подготовку поверхности под сварку.

Произвести прихватку с помощью полуавтоматической сварки в CO_2 в диаметрально противоположных точках. После чего выполнить сварку.

Сварные соединения подлежат проверке сразу после их выполнения. Приёмочный контроль проводят: визуально-измерительный (согласно РД 03-606-03), ультразвуковой (согласно ГОСТ 14782).

В ходе визуально-измерительного контроля выполняют проверку сварных швов на соответствие формы и размеров, отсутствие недопустимых дефектов на поверхности. Объём визуально-измерительного контроля – 100 %. В ходе ультразвукового контроля проверяется отсутствие недопустимых дефектов в сварном шве и околошовной зоне. Объём ультразвукового контроля – 30 %.

Не допускаются следующие выявленные при визуально-измерительном контроле дефекты: трещины всех видов и направлений, непровары в корне шва и неполное проплавление, прожоги, несплавления, поверхностные поры размером более 2,0 мм, подрезы глубиной более 2,0 мм, уменьшение катета углового шва, вогнутость корня шва более 1,5 мм, наплывы.

Не допускаются следующие выявленные при ультразвуковом контроле дефекты: непровары и несплавления между слоями шва, внутренние поры более 1,0 мм, скопления и цепочки шлаковых включений.

По внешнему виду сварные швы должны быть: с гладкой или равномерно чешуйчатой поверхностью, иметь плавные переходы к основному металлу, облицовочные валики должны перекрывать друг друга 1/3 ширины, кратеры должны быть заварены.

Для проведения визуально-измерительного контроля применяется: универсальный шаблон сварщика УШС-3; штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 с глубиномером; линейка металлическая Л-300 (300 мм); лупы просмотровые 4х и 7х; лупа просмотровая с подсветкой 3,5 х; лупа измерительная ЛИЗ-10х; рулетка, инструкция РД 03-606-03; угольник металлический; наборы щупов и радиусных шаблонов; фонарик; маркер по металлу; футляр для хранения.

Для проведения ультразвукового контроля применяется ультразвуковой дефектоскоп USD-500, набор стандартных образцов, гель для УЗК.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных процессов при изготовлении вагонов-цистерн. Во введении сформулирована цель – повышение производительности и качества сварки котлов железнодорожных вагонов-цистерн.

Анализ конструкции котла вагона-цистерны позволил заключить, что рассматриваемая конструкция является технологичной, и автоматизация сварки её швов является оправданной.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки котла применяется два способа сварки – автоматическая под слоем флюса и механизированная в углекислом газе.

Недостатками базовой технологии является применение нескольких способов сварки, осыпание флюса с изделия, малая производительность сварки из-за значительных затрат времени на проведение вспомогательных работ и исправление дефектов. Также при сварке используется сильно устаревшее оборудование (например, полуавтомат А-825М и источник питания ВСЖ-303), его следует заменить более на современное, что позволит повысить эффективность сварочных процессов.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, последовательное решение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- обосновать выбор и применение способа автоматической сварки конструкции котла вагона-цистерны;

- составить проектную технологию сварки с применением выбранного способа сварки (последовательность выполнения технологических операций, применяемое сварочное и вспомогательное оборудование, назначение параметров режима сварки, контроль качества).

2 Проектная технология сварки котла цистерны

2.1 Обоснование выбора способа сварки

При выполнении сварных конструкций из стали 09Г2С могут применяться следующие способы сварки:

- механизированная и автоматическая проволокой сплошного сечения в смеси защитных газов (диаметр проволоки 0,8...2,0 мм, в качестве защитного газа применяется смесь аргон + углекислый газ);
- автоматическая сварка под флюсом (диаметр сварочной проволоки составляет 1,6...5,0 мм);
- ручная дуговая сварка штучными электродами (диаметр электродов составляет 4...6 мм);
- сварка самозащитной порошковой проволокой.

До настоящего времени широко распространенным способом сварки при изготовлении конструкций является ручная дуговая сварка штучными электродами, схема которой показана на рисунке 3. Этот универсальный способ применяется при монтажных работах и выпуске товарной продукции. Пост для ручной дуговой сварки может быть организован с минимальными капитальными затратами. Выпуск новой продукции может быть начат практически сразу.

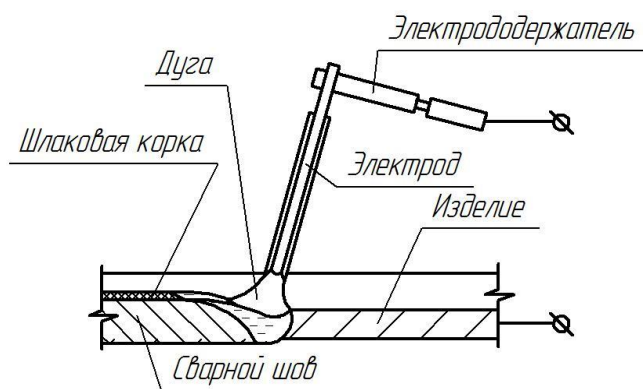


Рисунок 3 – Схема ручной дуговой сварки штучными электродами

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

В настоящее время доля сварных конструкций, получаемых с применением ручной дуговой сварки штучными электродами, неуклонно снижается. Это объясняется недостатками, присущими способу сварки. В первую очередь, следует отметить малую производительность выполнения сварочных работ, в настоящее время ресурс повышения скорости сварки и наплавки штучными электродами за счёт назначения оптимальных режимов и сварочных материалов полностью выработан. Вторым недостатком следует признать работу сварщика в тяжёлых условиях, которые приводят к возникновению профессиональных заболеваний и заставляют увеличивать расходы на обеспечение безопасности персонала. Третьим 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. Необходимость смены электродов не только приводит к увеличению расхода сварочных материалов, но и снижает производительность и качество сварочных работ.

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

Механизированная и автоматическая сварка проволокой сплошного сечения в среде защитных газов, схема которой приведена на рисунке 4, получила широкое распространение при выполнении сварных конструкций. Этот высокопроизводительный способ сварки продолжает совершенствоваться. В числе преимуществ способа следует отметить, во-первых, возможность визуального наблюдения за сваркой, которая отсутствует при сварке под флюсом и ограничена при ручной дуговой

сварке. Во-вторых, при сварке в смеси защитных газов практически не образуется шлаковая корка, что существенно повышает производительность из-за отсутствия необходимости промежуточной зачистки слоёв сварного шва. В третьих, следует отметить возможность сварки в различных пространственных положениях, обусловленную низкой текучестью сварного шва по сравнению со сваркой порошковой проволокой и сваркой под флюсом. В-четвёртых, оборудование для сварки в среде защитных газов намного проще и имеет меньшие габариты, чем для сварки под флюсом.

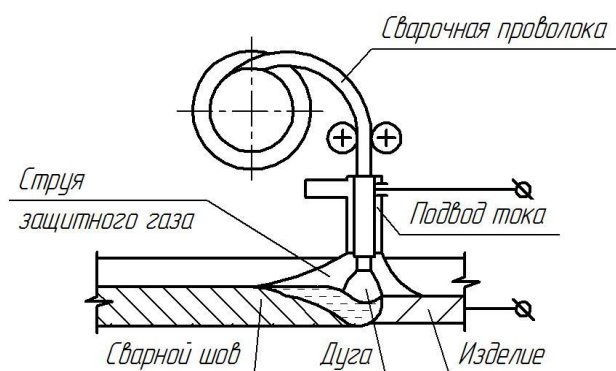


Рисунок 4 – Схема сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Несмотря на явные преимущества, сварка в среде защитных газов имеет ряд недостатков. Первым недостатком является интенсивное разбрызгивание при переходе на формованные режимы сварки. Это не только увеличивает расход сварочных материалов, но снижает производительность и ухудшает качество сварки. Вторым недостатком является опасность возникновения трещин из-за пониженной текучести расплавленного металла. Также следует отметить, что необходимость применения механизма подачи проволоки и газовых баллонов существенно снижает мобильность способа.

Сварка самозащитной порошковой проволокой, схема которой приведена на рисунке 5, обладает преимуществами ручной дуговой сварки и сварки в защитных газах. Отпадает необходимость использования газовых баллонов и механизма подачи газа, что существенно повышает мобильность способа и упрощает оборудование. Также нет необходимости в

использовании специального оборудования для подачи флюса, что также повышает простоту и мобильность сварки порошковой самозащитной проволокой.

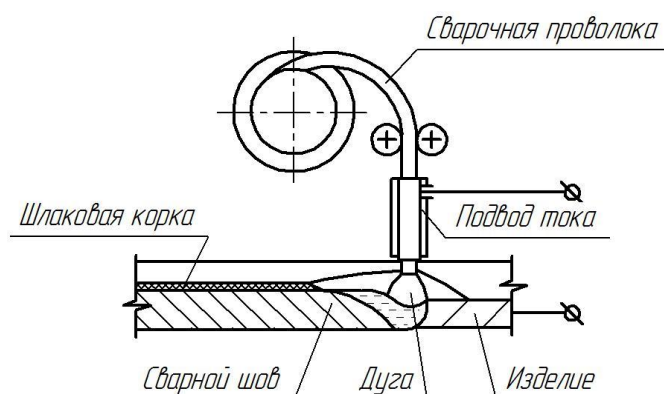


Рисунок 5 – Схема сварки самозащитными порошковыми проволоками

В числе недостатков этого способа сварки следует отметить, во-первых, дороговизну самозащитной проволоки. Во-вторых, к механизмам подачи порошковой проволоки предъявляются повышенные требования по сравнению со сваркой в защитных газах. Это объясняется малой жесткостью проволоки и частыми её заломами. В-третьих, следует отметить высокую жидкотекучесть шлака, что приводит к зашлаковыванию сварного шва и высокой вероятности получения дефектов в виде пор и шлаковых включений. Также порошковым проволокам присуща неравномерность плавления оболочки и флюсового сердечника, что приводит к попаданию нерасплавленного флюса в сварочную ванну и образованию дефектов.

Автоматическая сварка под флюсом, схеме выполнения которой приведена на рисунке 6, широко применяется в массовом производстве при выполнении протяжённых сварных швов. Преимуществами сварки под флюсом являются: во-первых, возможность управления составом наплавленного металла через проволоку и флюс; во-вторых, хорошее качество сварки при работах на открытом воздухе; в-третьих, высокая производительность и малые потери на угар и разбрызгивание.

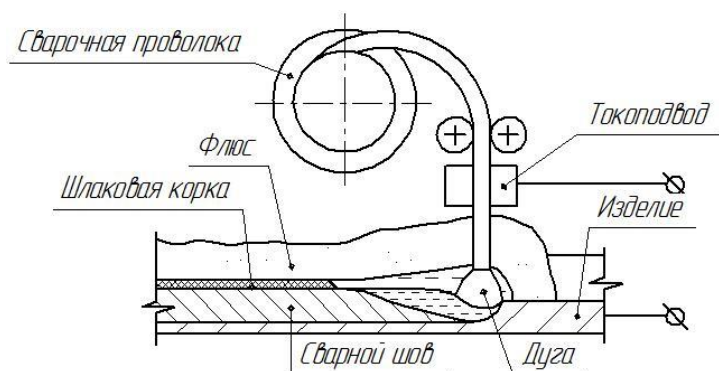


Рисунок 6 – Схема автоматической сварки под флюсом

В числе недостатков автоматической сварки под флюсом следует отметить, во-первых, возможность осыпания флюса с изделия; во-вторых, усложняется сварочное оборудование; в-третьих, повышенная жидкотекучесть расплавленного металла и флюса (повышается вероятность непроваров и пор); в-четвёртых, высокие требования к сборке под сварку (возможно вытекание расплавленного металла между кромками).

На основании анализа возможных способов сварки принято решение заменить автоматическую сварку под флюсом продольных швов обечаек (базовый вариант технологии сварки) на автоматическую сварку в смеси защитных газов (проектный вариант технологии). Это позволит уменьшить количество способов сварки, применяемых на производстве и повысить качество выполняемых работ.

Повышению эффективности сварки проволокой сплошного сечения в среде защитных газов посвящено большое количество работ [14], [16], [24]. На основании их анализа можно заключить, что повышение качества и производительности сварки достигается в результате управляемого переноса электродного металла в сварочную ванну. Для этого может быть использовано импульсное управление горением сварочной дуги и постоянное изменение скорости подачи электродной проволоки, которые нашли применение в таких процессах, как ColdArc, SpeedPulse, STT, Fast Root CMT и PulseShock.

2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Особенности горения дуги, плавления сварочной проволоки и переноса электродного металла при различных способах управления процессом сварки в защитных газах описаны в работах [14], [15], [16], [24]. Существующие типы переноса электродного металла достаточно полно изучены, сформулированы преимущества и недостатки каждого типа, области его эффективного использования в промышленности. Типом переноса электродного металла определяется материал и диапазон свариваемых толщин, каждый тип имеет определённый диапазон напряжения на дуге и сварочного тока согласно диаграмме на рисунке 7.

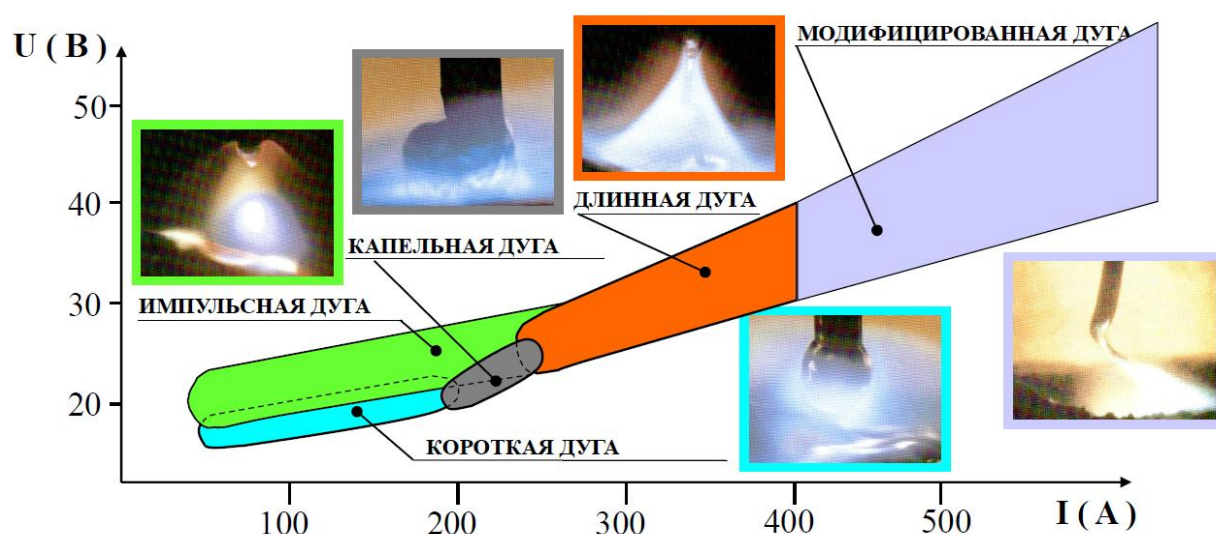


Рисунок 7 – Разновидности горения управляемой дуги при различных типах переноса электродного металла

Разработка быстродействующих силовых транзисторов позволила управлять горением дуги и переносом электродного металла, существенно снизив разбрызгивание и обеспечив устойчивость процесса сварки.

Особенностями импульсной дуги являются [25], [28], [29]:

- следование импульсов тока с заданной частотой, которая зависит от скорости подачи проволоки и обычно составляет 30...330 Гц;

- последовательный переход в сварочную ванну одной капли электродного металла за импульс;

- импульс тока характеризуется минимальным и максимальным значениями, причём, максимальные значения тока соответствуют току при длинной дуге;

- минимальные значения тока (т.н. «нижний ток») обеспечивает поддержание горения дуги, которая выполняет функцию очистки поверхности свариваемых деталей.

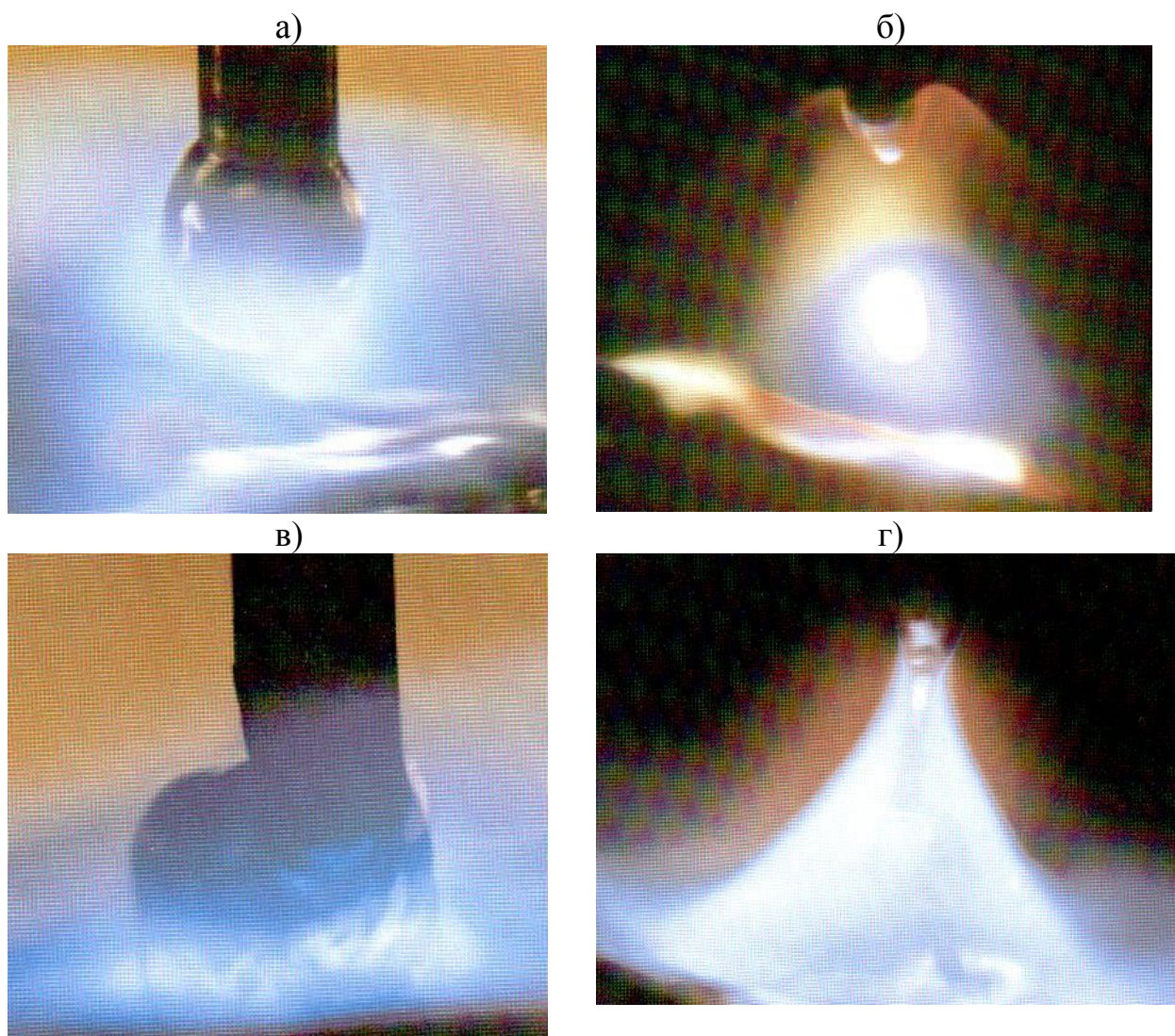


Рисунок 8 – Горение дуги при различных типах переноса металла: сварка короткой дугой (а); сварка импульсной дугой (б); крупнокапельный перенос (в); сварка длинной дугой (г)

Горение дуги с импульсным управлением позволяет [21]-[23]:

- успешно подавлять разбрызгивание электродного металла;
- существенно повысить проплавляющую способность дуги;
- гарантированно формировать обратный валик необходимых размеров;
- уменьшить зону термического влияния;
- существенно снизить вероятность получения подрезов, пор, несплавлений и непроваров.

Добавка Ar в защитную смесь позволяет повысить стабильность горения дуги, улучшить формирование шва (несколько снижается высота усиления, уменьшается бугристость), снизить содержание водорода в металле шва, что способствует повышению стойкости металла шва против образования пор. Наиболее плавный переход от шва к основному металлу наблюдается при содержании аргона в смеси 5-10%. При сварке с использованием смеси $\text{CO}_2 + 10\% \text{Ar}$ повышается жидкотекучесть металла, что снижает привариваемость капель металла к поверхности изделия. Поэтому в качестве защитной среды целесообразнее использовать смесь $\text{CO}_2 + 10\% \text{Ar}$.

2.3 Описание операций технологического процесса

Первая операция – входной контроль листового проката. Вторая операция – правка, третья операция – разметка, четвёртая операция – резка, пятая операция – подготовка кромок, шестая операция – гибка обечайки, седьмая операция – сборка обечайки, восьмая операция – сварка обечайки, девятая операция – сборка обечайки и днища, десятая операция – сварка обечайки и днища, одиннадцатая операция – вырезка горловины и приварка люка, двенадцатая операция – контроль качества сварки.

На первой операции – входной контроль, применяется оборудование: козловый кран КС 50-42В, набор строп, линейка металлическая 1000 мм, карманный фонарик, маркер по металлу, индикатор. Волнистость и прогиб

листа должна быть не более 12 мм. Необходимо проверить наличие сертификата на каждую партию проката. Также следует осмотреть поверхность листов на наличие раковин, сквозных разрывов, вздутий, трещин и расслоений.

На второй операции – правка, применяются гибочные семивалковые вальцы Н-1517. Скорость правки: $V_{пр} = 50...70$ мм/с, момент правки: 400 кгс·м. Волнистость листа - не более 12 мм на 1 м. Лист пропустить не менее 3х раз.

На третьей операции – разметке, применяются: шаблоны, чертилка, линейка металлическая, рулетка, угольник.. Точность разметки - 0,5 мм. При разметке учитывать припуск на рез. Точность измерительного инструмента не ниже 2-го класса.

На четвёртой операции – резке, применяются: ножницы гильотинные Н3121. Ход ножа – 80 мм. Число ходов ножа – 100 ходов в минуту. Точность реза 0,5 мм.

На пятой операции – подготовка кромок, применяются: кромкострогальный станок, скорость реза $V_{рез}=2...2,5$ м/мин, точность реза – 0,25 мм.

На шестой операции – гибка обечайки, применяются: листогибочная машина Н-2224, кран-балка, рукавицы х/б. Радиус гибки обечайки - 1500 мм. Гибка происходит в последовательности: установить лист на стан, пропустить через валки. Допуск на диаметр обечайки - 20 мм, овальность обечайки не более 1%. Отжига обечайки после вальцовки не требуется.

На седьмой операции – сборка обечайки, применяются: источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33, проволока Св-09Г2С \varnothing 1,6 мм, углекислый газ 25%+аргон 75%, сборочное приспособление. Применяются режимы: ток – 240...260 А, напряжение дуги – 30...32 В, скорость подачи проволоки – 230...240 м/ч; расход газа – 12...14 л/мин. Смещение кромок - не более 0,5 мм. Зазоры в сварном шве 0...2 мм. Размеры прихватки (глубина - 3...4 мм, ширина - 6...8 мм, длина - 50...80 мм, шаг - 200...250 мм).

На восьмой операции – сварка обечайки, применяется: стенд сварочный, источник питания ВДУ-506, вращатель, проволока Св-09Г2С Ø1,6 мм, углекислый газ 25%+аргон 75%. Применяются режимы: ток – 240...260 А, напряжение дуги – 30...32 В, скорость подачи проволоки – 230...240 м/ч; расход газа – 12...14 л/мин. Необходимо выполнить послойный визуальный контроль качества. Не допускаются: трещины, непровары, прожоги, несплавления кромок, подрезы более 2 мм, поверхностные поры более 2 мм, наплывы.

На девятой операции – сборка обечайки с днищем, применяется: источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33, проволока Св-09Г2С Ø 1,6 мм, углекислый газ 25%+аргон 75%, сборочное приспособление. Применяются режимы: ток – 240...260 А, напряжение дуги – 30...32 В, скорость подачи проволоки – 230...240 м/ч; расход газа – 12...14 л/мин. Смещение кромок - не более 0,5 мм. Зазоры в сварном шве 0...2 мм. Размеры прихватки (глубина - 3...4 мм, ширина - 6...8 мм, длина - 50...80 мм, шаг - 200...250 мм).

На десятой операции – сварка обечайки с днищем, применяется: стенд сварочный, источник питания ВДУ-506, вращатель, проволока Св-09Г2С Ø1,6 мм, углекислый газ 25%+аргон 75%. Применяются режимы: ток – 240...260 А, напряжение дуги – 30...32 В, скорость подачи проволоки – 230...240 м/ч; расход газа – 12...14 л/мин. Необходимо выполнить послойный визуальный контроль качества. Не допускаются: трещины, непровары, прожоги, несплавления кромок, подрезы более 2 мм, поверхностные поры более 2 мм, наплывы.

На одиннадцатой операции – вырезка горловины и приварка люка, применяется: источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33, проволока Св-09Г2С Ø1,6 мм, углекислый газ 25% + аргон 75%, сборочное приспособление. Применяются режимы: ток – 240...260 А, напряжение дуги – 30...32 В, скорость подачи проволоки – 230...240 м/ч; расход газа – 12...14 л/мин. Необходимо выполнить послойный визуальный контроль качества. Не

допускаются: трещины, непровары, прожоги, несплавления кромок, подрезы более 2 мм, поверхностные поры более 2 мм, наплывы.

На двенадцатой операции – контроль качества, применяются: набор визуально-измерительного контроля, ультразвуковой дефектоскоп USD-500, набор стандартных образцов для УЗК. Объем визуально-измерительного контроля - 100%. Объем ультразвукового контроля - 30%.

Не допускаются: трещины, непровары в корне шва, прожоги, несплавления кромок, подрезы более 2 мм, поверхностные поры более 2 мм, наплывы.

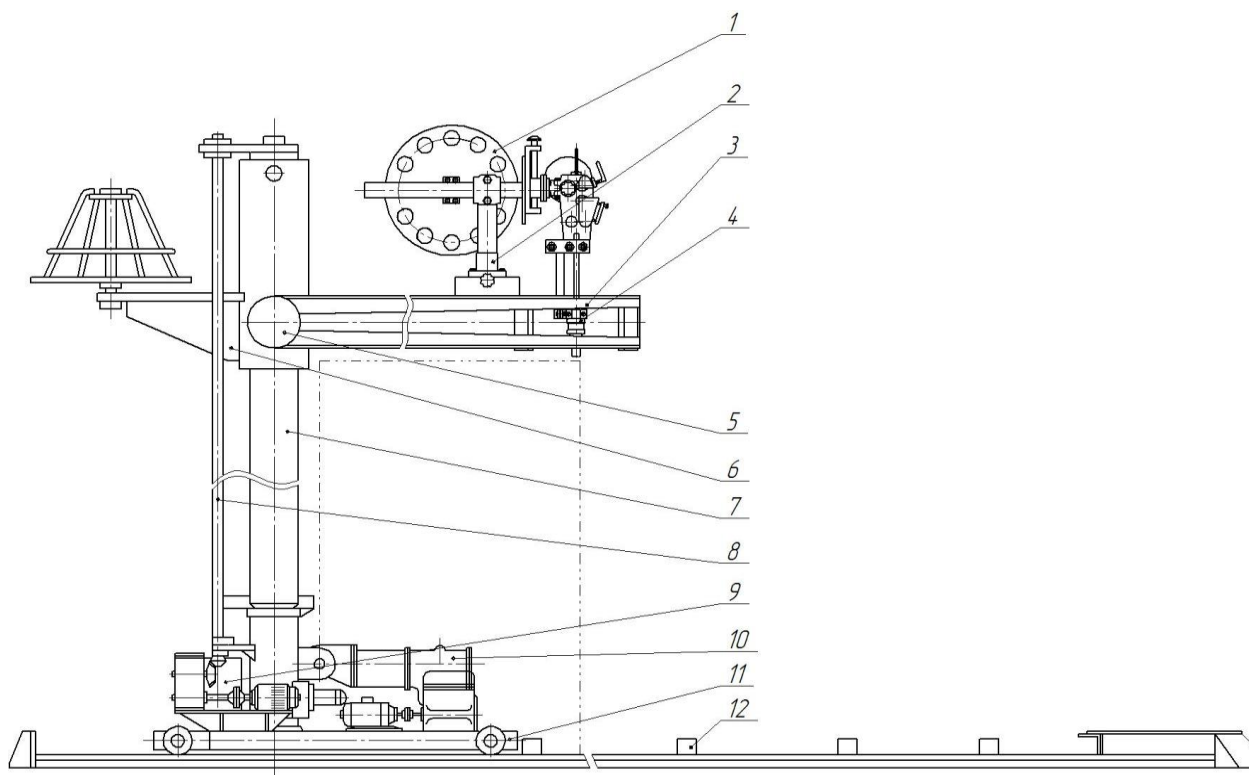
2.4 Описание сварочного оборудования и сварочных материалов

Изменения произошли только на сварочных операциях. Для сварки механизированной сварки люка и выполнения прихваток предложено использовать источник питания ВДУ-506, представленный на рисунке 9а, и механизм подачи проволоки ПМ 4.33, представленный на рисунке 9б. Для автоматической сварки продольных швов обечайки и кольцевых швов предложено использовать источник питания ВДУ-506 и сварочную колонну, представленную на рисунке 10.

Для сварки применяется проволока сплошного сечения диаметром 1,6 мм Св-08Г2С согласно таблиц 7 и 8, рисунка 11.



Рисунок 9 – Оборудование для выполнения механизированной варки люка котла цистерны и выполнения прихваток: источник питания ВДУ-506 (а) и полуавтомат ПМ 4.33 (б)



1 – механизм подачи; 2- вертикальная направляющая; 3 – консоль; 4 – сварочная горелка; 5 – суппорт; 6 – катушка, 7 – направляющая; 8- винт ходовой; 9 – привод суппорта; 10 – привод горизонтальный; 11 – механизм горизонтального перемещения; 12 - вращатель

Рисунок 10 – Стенд сварочный в сборе

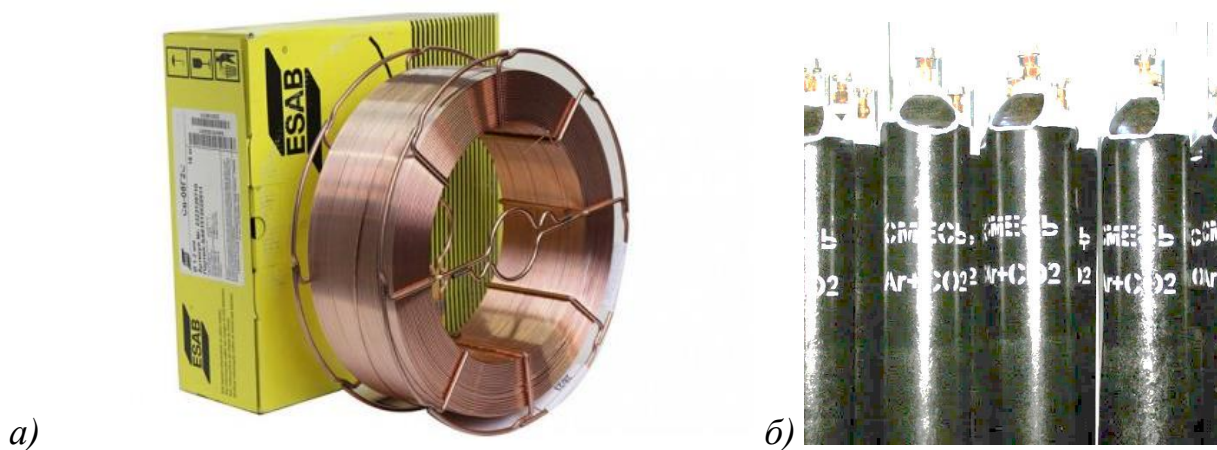


Рисунок 11 – Применяемые сварочные материалы: сварочная проволока Св-08Г2С (а) и смесь газов «аргон + углекислый газ» (б)

Таблица 7 – Химический состав наплавляемого металла проволокой Св-08Г2С

C	Si	Mn	S	P
0,06	0,70	1,8	<0,009	<0,016

Таблица 8 – Механические свойства наплавленного металла проволокой Св-08Г2С

Предел текучести	Предел прочности	Относительное удлинение	Ударная вязкость KCV	
			°C	Дж/см ²
$\sigma_T, \text{Н/мм}^2$	$\sigma_B, \text{Н/мм}^2$	$\delta, \%$	-20 °C	70
450	550	30		

Качество сварочной проволоки должно соответствовать ГОСТ 2264. Упаковка сварочных материалов должна быть проведена согласно требованиям ТУ на эти материалы. Обязательно наличие сертификатов предприятия-изготовителя, которые удостоверяют качество поставленной сварочной проволоки.

Таблица 9 – Параметры режима автоматической и механизированной сварки в смеси защитных газов

Диаметр проволоки	Сварочный ток	Напряжение на дуге	Скорость подачи проволоки	Расход газа	Скорость сварки
мм	А	В	м/ч	л/мин	м/ч
1,6	240...260	30...32	230...240	12...14	40...45

Очищенная и намотанная в кассеты сварочная проволока должна храниться в закрытых помещениях, температура в которых не опускается ниже +15 °C. При этом на каждой кассете с проволокой на видном месте необходимо выполнить маркировку несмываемой краской. При намотке проволоки на кассеты следят за тем, чтобы не было перегибов. Сварочные проволоки в зависимости от условий поставки могут быть полированными, омеднёнными или осветлёнными.

2.5 Контроль качества сварочных работ

Приёмочный контроль проводят: визуально-измерительный (согласно РД 03-606-03), ультразвуковой (согласно ГОСТ 14782).

В ходе визуально-измерительного контроля выполняют проверку сварных швов на соответствие формы и размеров, отсутствие недопустимых дефектов на поверхности. Объём визуально-измерительного контроля – 100 %. В ходе ультразвукового контроля проверяется отсутствие недопустимых дефектов в сварном шве и околошовной зоне. Объём ультразвукового контроля – 30 %.

Не допускаются следующие выявленные при визуально-измерительном контроле дефекты: трещины всех видов и направлений, непровары в корне шва и неполное проплавление, прожоги, несплавления, поверхностные поры размером более 2,0 мм, подрезы глубиной более 2,0 мм, уменьшение катета углового шва, вогнутость корня шва более 1,5 мм, наплывы.

Не допускаются следующие выявленные при ультразвуковом контроле дефекты: непровары и несплавления между слоями шва, внутренние поры более 1,0 мм, скопления и цепочки шлаковых включений.

По внешнему виду сварные швы должны быть: с гладкой или равномерно чешуйчатой поверхностью, иметь плавные переходы к основному металлу, облицовочные валики должны перекрывать друг друга 1/3 ширины, кратеры должны быть заварены.

Для проведения визуально-измерительного контроля применяется: универсальный шаблон сварщика УШС-3; штангенциркуль ШЦ-1-125-0,1 с глубиномером; линейка металлическая Л-300 (300 мм); лупы просмотровые 4х и 7х; лупа просмотровая с подсветкой 3,5 х; лупа измерительная ЛИЗ-10х; рулетка, инструкция РД 03-606-03; угольник металлический; наборы щупов и радиусных шаблонов; фонарик; маркер по металлу; футляр для хранения.

Для проведения ультразвукового контроля применяется ультразвуковой дефектоскоп USD-500, набор стандартных образцов, гель для УЗК.

Выводы по второму разделу

В ходе выполнения исполнительского раздела выпускной квалификационной работы был обоснован выбор сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения как основной способ при механизированной сварке люка, простановке прихваток и автоматической сварке продольных и кольцевых швов. Была составлена проектная технология сварки и выполнена планировка участка сборки и сварки котла вагона-цистерны.

После выполнения исполнительского раздела воспоследует оценочный блок, где будут проведены следующие работы:

- выполнить оценку предложенных в исполнительском разделе технологических решений на предмет отрицательного влияния на здоровье персонала и окружающую среду, предусмотреть меры защиты от опасных и вредных факторов, сопровождающих применение проектной технологии в производстве;

- выполнить оценку предложенных технологических решений с точки зрения получения потенциального экономического эффекта, для чего следует рассчитать затраты по проектной и базовой технологиям и определить экономические показатели выпускной квалификационной работы.

3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при изготовлении котлов вагонов-цистерн. Проектная технология предусматривает применение механизированной сварки в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения и автоматической сварки в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения. 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 стандартных средств и мероприятий. Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение двенадцати операций согласно таблицы 10. Первая операция – входной контроль, для выполнения операции применяются козловой кран КС 50-42В, набор строп, линейка металлическая 1000 мм, карманный фонарик, маркер по металлу, индикатор. Вторая операция – операция правки, для выполнения операции применяются гибочные семивалковые вальцы Н-1517. Третья операция – разметка, для выполнения операции применяются шаблоны, чертилка, линейка металлическая, рулетка, угольник. Четвёртая операция – резка, для выполнения операции применяются ножницы гильотинные Н3121.

Таблица 10 - Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1) входной контроль	Дефектоскопист	козловой кран КС 50-42В, набор строп, линейка металлическая 1000 мм, карманный фонарик, маркер по металлу, индикатор	Рукавицы
2) правка	Слесарь-сборщик	гибочные семивалковые вальцы Н-1517	Рукавицы
3) разметка	Слесарь-сборщик	шаблоны, чертилка, линейка металлическая, рулетка, угольник	Рукавицы
4) резка	Слесарь-сборщик	ножницы гильотинные Н3121	Рукавицы
5) подготовка кромок	Слесарь-сборщик	кромкострогальный станок	Рукавицы
6) гибка обечайки	Слесарь-сборщик	листогибочная машина Н-2224, кран-балк	Рукавицы
7) сборка обечайки	Электросварщик, слесарь-сборщик	стенд сварочный, источник питания ВДУ-506, вращатель	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ
8) сварка обечайки	Электросварщик	стенд сварочный, источник питания ВДУ-506, вращатель	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ
9) сборка обечайки с днищем	Электросварщик, слесарь-сборщик	источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33, сборочное приспособление	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ
10) сварка обечайки с днищем	Электросварщик	стенд сварочный, источник питания ВДУ-506, вращатель	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ
11) вырезка горловины и приварка люка	Электросварщик	источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33,	Рукавицы, сварочная проволока, защитный газ
12) контроль качества	Дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля, ультразвуковой дефектоскоп	Кисточка, масло

Пятая операция – подготовка кромок, для выполнения операции применяется кромкострогальный станок. Шестая операция – гибка обечайки, для выполнения операции применяется листогибочная машина Н-2224, кран-балка. Седьмая операция – сборка обечайки, для выполнения операции применяется источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33, проволока Св-09Г2С Ø 1,6 мм, углекислый газ 25% + аргон 75%, сборочное приспособление. Восьмая операция – сварка обечайки, применяется стенд сварочный, источник питания ВДУ-506, вращатель, проволока Св-09Г2С Ø1,6 мм, углекислый газ 25% + аргон 75%. Девятая операция – сборка обечайки с днищем, применяется источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33, проволока Св-09Г2С Ø 1,6 мм, углекислый газ 25% + аргон 75%, сборочное приспособление. Десятая операция – сварка обечайки с днищем, применяется стенд сварочный, источник питания ВДУ-506, вращатель, проволока Св-09Г2С Ø1,6 мм, углекислый газ 25% + аргон 75%. Одиннадцатая операция – вырезка горловины и приварка люка, применяется источник питания ВДУ-506, полуавтомат ПМ-4.33, проволока Св-09Г2С Ø 1,6 мм, углекислый газ 25% + аргон 75%. Двенадцатая операция – контроль качества, применяются набор визуально-измерительного контроля, ультразвуковой дефектоскоп USD-500, набор стандартных образцов для УЗК.

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, приведёнными в таблице 11.

Таблица 11 – 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) входной контроль	<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; 	<ul style="list-style-type: none"> - мостовой кран; - острые кромки изделия; - инструменты
<ul style="list-style-type: none"> 2) правка; 3) разметка; 4) резка; 5) подготовка кромок 6) гибка обечайки 	<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"> - гильотинные ножницы; - станок кромкострогальный - листогибочная машина
<ul style="list-style-type: none"> 7) сборка обечайки; 8) сварка обечайки; 9) сборка обечайки с днищем; 10) сварка обечайки с днищем; 11) вырезка горловины и приварка люка 	<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; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение 	<ul style="list-style-type: none"> - универсальная сварочная оснастка; - струбицы; - угольник; - линейка; - сварочный источник питания; - зачистная машинка; - сварочная дуга; - сварочный аэрозоль; - нагретые края изделия
12) контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение; - 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 	Масло, ветошь

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 12 – 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) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	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;	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
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) ультразвуковое 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.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

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 13, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения согласно 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.

Таблица 13 – 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 сборки 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 14 – 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.

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблицы 15.

Таблица 15 – 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 (механизированная и автоматическая сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения)	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.

3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

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 таблицы 16 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов согласно таблицы 17.

Таблица 16 – 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 в защитном газе проволокой сплошного сечения)	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 17 – 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 или кантователя 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.

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 рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки емкости цистерны с применением механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения 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).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

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 котла вагона-цистерны за счёт применения современных достижений сварочной науки в области управления горением дуги и переносом электродного металла. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах. Для повышения эффективности сварки предложено применять импульсное управление горением дуги.

Базовый вариант технологии предполагает использование ручной дуговой сварки и сварки под слоем флюса. Проектный вариант технологии предполагает использование сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения (механизированной – для сварки швов малой длины и автоматической – для сварки протяжённых швов).

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.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблицы 18.

Таблица 18 – 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 - отчислений на дополнительную заработную плату - отчислений на социальные нужды - выполнения нормы	$K_{доп}$	%	12	12
	$K_{д}$	-	1,88	1,88
	$K_{сн}$	%	34	34
	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Цоб$	Руб.	2000000	4000000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	25	40
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование : - норма амортизации оборудования - коэффициент транспортно-заготовительных расходов - коэффициент затрат на монтаж и демонтаж - стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$На$	%	21,5	21,5
	$K_{т-з}$	%	5	5
	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
	$Цэ-э$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 18

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	150	150
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	P/m^2	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33

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 таблицы 18: суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 277$ дней, длительность рабочей смены $T_{\text{см}} = 8$ часов, количество предпраздничных дней $D_{\text{п}} = 7$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{\text{п}} = 1$ час, принятое для

рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен $K_{см} = 1$. Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

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

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

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

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

$$F_э = F_H (1 - B/100). \quad (2)$$

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

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

4.3 Расчёт штучного времени

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

времени $t_{П-3}$:

$$t_{шт} = t_{МАШ} + t_{ВСП} + t_{ОБСЛ} + t_{ОТЛ} + t_{П-3}. \quad (3)$$

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

$$t_{шт.баз} = 10 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 17,5 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 7 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 12,25 \text{ ч.}$$

Годовая программа $П_{Г}$ выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (4.2) эффективного фонда времени $F_{э}$ и согласно (4.3) штучного времени $t_{шт}$:

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

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

$$П_{Г.баз.} = 2054 / 17,5 = 117 \text{ вагона за год;}$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054 / 12,25 = 167 \text{ вагона за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $П_{Г}=100$ изделий в год.

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

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

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

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{17,5 \cdot 100}{2054 \cdot 1,03} = 0,82, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{12,25 \cdot 100}{2054 \cdot 1,03} = 0,58.$$

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 ($n_{\text{пр}} = 1$). Коэффициент K_3 загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}}. \quad (6)$$

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

$$K_{3б} = 0,82/1 = 0,82, \quad K_{3п} = 0,58/1 = 0,58.$$

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 автоматической сварке под флюсом расходными материалами будут сварочная проволока и флюс. При автоматической и механизированной сварке в среде защитных газов проволокой сплошного сечения расходными материалами будут защитная смесь газов и сварочная проволока.

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

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{тз}, \quad (7)$$

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

$$M_{\text{баз.}} = 11 \cdot 550 \cdot 1,05 = 6353 \text{ руб.},$$

$$M_{\text{проектн.}} = 11 \cdot 470 \cdot 1,05 + 130 \cdot 7 \cdot 1,05 = 6384 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (8)$$

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

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 17,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 6580 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 12,25 \cdot 200 \cdot 1,88 = 4606 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 6580 \cdot 12 / 100 = 790 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 4606 \cdot 12 / 100 = 553 \text{ руб.}$$

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

$$\Phi ЗП_{\text{базов.}} = 6580 + 790 = 7370 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 4606 + 553 = 5159 \text{ руб.}$$

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

$$O_{\text{сн}} = \Phi 3П \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

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

$$O_{\text{сн баз.}} = 7370 \cdot 34 / 100 = 2506 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сн проектн.}} = 5159 \cdot 34 / 100 = 1754 \text{ руб.}$$

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 $P_{\text{ээ}}$ на электрическую энергию:

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

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

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

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

$$A_{\text{об. баз.}} = 2000000 \cdot 21,5 \cdot 17,5 / 2054 / 100 = 3663 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 4000000 \cdot 21,5 \cdot 12,25 / 2054 / 100 = 5129 \text{ руб.}$$

Расходы $P_{\text{ээ}}$ на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования $M_{\text{уст}}$, цены электрической энергии $\Pi_{\text{э-э}}$ 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:

$$P_{\text{ээ баз}} = 17,5 \cdot 25 \cdot 3,2 / 0,7 = 2000 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 12,25 \cdot 40 \cdot 3,2 / 0,85 = 1844 \text{ руб.}$$

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

$$З_{\text{об баз}} = 3663 + 2000 = 5663 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{об проектн.}} = 5129 + 1844 = 6973 \text{ руб.}$$

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 $З_{\text{об}}$:

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

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 6353 + 7370 + 2506 + 5663 = 21892 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 6384 + 5159 + 1754 + 6973 = 20270 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 21892 + 1,5 \cdot 6580 = 21892 + 9870 = 31762 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 20270 + 1,5 \cdot 4606 = 20270 + 6909 = 27179 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{ЗАВБаз.} = 31762 + 1,15 \cdot 6580 = 31762 + 7567 = 39329 \text{ руб.},$$

$$C_{ЗАВПроектн.} = 27179 + 1,15 \cdot 4606 = 27179 + 5297 = 32476 \text{ руб.}$$

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

Таблица 19 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	<i>M</i>	6353	6384
2. Фонд заработной платы	<i>ФЗП</i>	7370	5159
3. Отчисления на соц. нужды	<i>O_{сн}</i>	2506	1754
4. Затраты на оборудование	<i>Z_{об}</i>	5663	6973
5. Технологическая себестоимость	<i>C_{тех}</i>	21892	20270
6. Цеховые расходы	<i>P_{цех}</i>	9870	6909
7. Цеховая себестоимость	<i>C_{цех}</i>	31762	27179
8. Заводские расходы	<i>P_{зав}</i>	7567	5297
9. Заводская себестоимость	<i>C_{зав}</i>	39329	32476

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

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

$$K_{\text{общ. б.}} = C_{\text{ОБ.Б.}} \cdot K_{3.б.} \quad (17)$$

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

$$C_{\text{об.б.}} = C_{\text{ПЕРВ.}} - (C_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

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

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 2000000 - (2000000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 1140000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 1140000 \cdot 0,82 = 934800 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$K_{\text{об. пр.}} = 4000000 \cdot 1,05 \cdot 0,58 = 2436000 \text{ руб.}$$

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:

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

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

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

$$K_{\text{дем}} = 2000000 \cdot 0,05 = 100000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 4000000 \cdot 0,05 = 200000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 100000 + 200000 = 300000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ. пр}} = 2436000 + 300000 = 2736000 \text{ руб.}$$

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:

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

$$K_{\text{доп}} = 273600 - 93480 = 180120 \text{ руб.}$$

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

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

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{\text{удБаз.}} = 934800/100 = 9348 \text{ руб./ед.}; K_{\text{удПроектн.}} = 2736000/100 = 27360 \text{ руб./ед.}$$

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:

$$\Delta t_{шт} = \frac{17,5 - 12,25}{17,5} \cdot 100\% = 30\%$$

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:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 30}{100 - 30} = 43\%$$

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

$$\Delta C_{тех} = \frac{C_{техБ} - C_{техПР}}{C_{техБ}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{21892 - 20270}{21892} \cdot 100\% = 8\%$$

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

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

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

$$\mathcal{E}_{\text{у.г.}} = (39329 - 32476) \cdot 100 = 685300 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{180120}{685300} = 0,3$$

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

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

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

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = 685300 - 0,33 \cdot 180120 = 635860 \text{ руб.}$$

Выводы по экономическому разделу

При выполнении базовой технологии сборки и сварки ёмкости вагона-цистерны применяется два способа сварки – автоматическая под флюсом и ручная дуговая штучными электродами.

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. Недостатки применения автоматической сварки под флюсом: осыпание флюса с изделия, повышенная жидкотекучесть расплавленного металла и флюса (повышается вероятность непроваров и пор), высокие требования к сборке под сварку (возможно вытекание расплавленного металла между кромками).

Проектный вариант технологии предполагает использование сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения (механизированной – для сварки швов малой длины и автоматической – для сварки протяжённых швов). 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 30 %, повышение производительности труда на 43 %, уменьшение технологической себестоимости на 8 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 0,685 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,636 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварки котлов железнодорожных вагонов-цистерн.

Анализ конструкции котла вагона-цистерны позволил заключить, что рассматриваемая конструкция является технологичной, и автоматизация сварки её швов является оправданной.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки котла применяется два способа сварки – автоматическая под слоем флюса и механизированная в углекислом газе.

В ходе выполнения исполнительского раздела выпускной квалификационной работы был обоснован выбор сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения как основной способ при механизированной сварке люка, простановке прихваток и автоматической сварке продольных и кольцевых швов. Была составлена проектная технология сварки и выполнена планировка участка сборки и сварки котла вагона-цистерны.

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 0,636 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения поставленной цели выпускной квалификационной работы. Её результаты следует внедрить в производство.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
2. Бороненко Ю. П. Стратегические задачи вагоностроителей в развитии тяжеловесного движения // Транспорт РФ. 2013. № 5. С. 68–73.
3. Волченко В. Н. Контроль качества сварных соединений. М : Машиностроение. 1986. 172 с.
4. ГОСТ 53192-2008 Конструкции стальные сварные грузовых вагонов
5. Диньмухаметова Л. С., Пояркова Е. В. Влияние механической неоднородности на предельную несущую способность сварных соединений из сталей повышенной прочности // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 6. С. 160–163.
6. Иванов А. И., Хусаинов Р. М., Мастобаев Б. Н. Развитие техники и технологий железнодорожного транспорта нефтепродуктов и углеводородного сырья в США // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 1. С. 43–48.
7. Инновационный подвижной состав производства «Уралвагонзавода» для железных дорог «пространства 1520 мм» // Транспорт Российской Федерации. 2010. № 3. С. 21–21.
8. Мямлин С.В., Бубнов В. М., Лавренко Д. Т. Тенденции в совершенствовании конструктивных схем железнодорожных цистерн для перевозки нефтепродуктов // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2006. № 4. С. 138–140.
9. Конюхов А.Д., Ефимов В. П., Демин К. П. Высокопрочные стали и сплавы для кузовов грузовых вагонов // Тяжелое машиностроение. 2006. № 12. С. 31–34.
10. Коросташевский П. В. Выбор основных параметров стенов автоматической сварки листовых полотнищ обечаек котлов в

крупносерийном производстве // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2006. № 16. С. 1–5.

11. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.

12. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

13. Кузеев И. Р., Диньмухаметова Л. С., Пояркова Е. В. Прогнозирование безопасности эксплуатации сварных конструкций в условиях нефтесодержащих сред // Нефтегазовое дело. 2011. № 6. С. 254–262.

14. Ланкин, Ю.Н. Автоматическое управление процессом сварки плавящимся электродом в CO_2 с периодическими короткими замыканиями дугового промежутка // Автоматическая сварка. 2007. № 1. С. 3–10.

15. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. М.: Машиностроение, 1989. 264 с.

16. 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.

17. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

18. Спиридонов Б. К., Пастухов И. Ф. Конструкция и расчёт вагонов. М.: Машиностроение, 1980. 248 с.

19. Шадур Л. А. Вагоны. Конструкция, теория и расчёт. М. : Транспорт, 1980. 439 с.

20. Gordon J. E., Jeong D. , Marquis B. P. Investigation of residual stresses in tank car shells in the vicinity of weld ends // Railroad Conference, 1997. P. 157–164.

21. Ditschun A., Dorling D., Glover A. The development and application of pulsed FM-GMA welding // First Intern. conf. on advanced welding systems, London, 19–21 Nov., 1985. Abington, 1987. P. 301–309.
22. Dorling D. V. Applying pulsed GMA welding to pipeline construction // Welding Journal 1992. № 10. P. 39–44.
23. Dorling D. V., Loyer A., Russell A. N., Thompson T. S. Gas metal arc welding used on mainline 80 ksi pipeline in Canada // Ibid. 1992. № 5. P. 55–61.
24. Lebedev V. A., Maksimov S. Yu. Application of mechanical oscillations with controllable parameters for improvement of arc mechanized and automatic arc welding and surfacing using consumable electrode // Doc.XII-2082-12, Draft Agenda Commission XII «Arc Welding Processes and Production Systems» July 9-11, 2012, Denver, USA.
25. Yamamoto T., Ohji T., Miyasaka F., Tsuji Y. Mathematical modeling of metal active gas arc welding // Sci. and Technology of Welding & Joining. 2002, № 4. P. 260–264.
26. Orringer O., Gordon J. E., Tang Y. H., Perlman A. B. On some problems of stress concentration in tank car shells // Mechanics Rail Transportation Division Symposium. 1988. vol. 2. P. 87–94.
27. Rozen W. J. Fabricating Railcars with Resistance Welding // Welding Journal. 2010. vol. 12. P. 26–31.
28. Stava E. K. New surface transfer tension process speeds pipe Welding // Pipe Line & Gas Industry. 1999. № 9. P. 55–57.
29. Wang F., Hou W. K. Modelling and analysis of metal transfer in gas metal arc welding // J. Phys. D: Applied Physics. 2003. vol. 36. P. 1–19.
30. Wilson D.V., Tromans T. K. Effect of strain aging on fatigue damage in low-carbon steel // Acta Metallurgica. 1970. vol. 18. P. 1197–1208.