

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные  
процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс изготовления шарового  
резервуара полистовой сборки

Студент

И.С. Похожелский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2020

## Аннотация

В настоящий момент наблюдается рост производственных мощностей химических предприятий, в то время, как их площадь остаётся неизменной. Таким образом, перед технологом стоит задача повышения выработки химического сырья при ограниченных размерах производственных площадей. В связи с этим актуальность применения шаровых резервуаров будет только расти, а их ёмкость будет увеличиваться.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварочных работ при строительстве шаровых резервуаров.

В ходе выполнения работы были решены задачи: 1) анализ альтернативных способов сварки и обоснование выбора способа сварки швов на шаровом резервуаре; 2) повышение эффективности выбранного способа сварки; 3) составление проектной технологии сварки.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,2 млн. рублей.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при выполнении сварочных работ на строительстве шаровых резервуаров.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Анализ состояния вопроса сварки шаровых резервуаров . . . . .	7
1.1 Описание конструкции . . . . .	7
1.2 Сведения о материале конструкции. . . . .	10
1.3 Базовая технология сварки шарового резервуара. . . . .	12
1.4 Контроль качества . . . . .	15
1.5 Предварительный анализ источников научно-технической информации по теме выпускной квалификационной работы . . . . .	17
1.6 Формулировка задач выпускной квалификационной работы . . . . .	20
2 Проектная технология сварки шарового резервуара . . . . .	21
2.1 Обоснование выбора способа сварки . . . . .	21
2.2 Повышение эффективности сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения . . . . .	28
2.3 Операции проектной технологии сварки шарового резервуара . . . . .	32
2.4 Параметры режима сварки . . . . .	36
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений . . . . .	39
3.1 Технологическая характеристика объекта . . . . .	39
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений . . . . .	40
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков . . . . .	41
3.4 Обеспечение пожарной безопасности . . . . .	42
3.5 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта . . . . .	44
3.6 Заключение по разделу . . . . .	45
4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических	46

решений	
4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов . .	46
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования . . . . .	48
4.3 Расчет штучного времени . . . . .	49
4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки . . .	53
4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам . . . . .	60
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений . . . . .	64
Заключение по экономическому разделу . . . . .	67
Заключение . . . . .	68
Список используемой литературы . . . . .	69

## Введение

Шаровые резервуары используются для хранения сжиженных газов (пропан, бутилен, бутан), легкогорючих жидкостей (амилен, изоамилен, изопентан), жидкого аммиака [1]. Существенное увеличение парка шаровых резервуаров произошло из-за интенсивного развития нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих комплексов. Шаровой резервуар может считаться самой экономичной ёмкостью, в которой можно хранить азот, воздух, кислород, сжиженные углеводородные газы, сжиженный природный газ инертные газы.

Благодаря своей форме шаровые резервуары наилучшим образом воспринимают избыточное внутреннее давление. Перед цилиндрическими резервуарами шаровые резервуары имеют ряд преимуществ. Первым преимуществом является малая площадь, которая требуется для установки резервуара. Вторым преимуществом является существенное (на 20 %) снижение металлоёмкости конструкции, так как площадь поверхности шарового резервуара меньше, чем площадь поверхности цилиндрического резервуара. Снижение металлоёмкости конструкции позволяет уменьшить расходы на доставку резервуара на место установки.

В настоящий момент наблюдается рост производственных мощностей химических предприятий, в то время, как их площадь остаётся неизменной. Таким образом, перед технологом стоит задача повышения выработки химического сырья при ограниченных размерах производственных площадей. В связи с этим актуальность применения шаровых резервуаров будет только расти, а их ёмкость будет увеличиваться, это позволит: существенно снизить затраты на монтаж и обслуживание технологических трубопроводов, так как будет уменьшена их протяжённость; уменьшить площадь резервуарных парков; сократить потери продукта от испарения; снизить затраты на контрольно-измерительные приборы [1].

В настоящее время хранение сжиженных углеводородов осуществляется в шаровых резервуарах объёмом 600, 1400, 2000 и 4000 м<sup>3</sup> [2-5].

В настоящее время на предприятиях России проходят работы по освоению промышленного выпуска шаровых резервуаров объёмом 5000, 6600 и 8000 м<sup>3</sup> [1].

Строительство шаровых резервуаров в Советском Союзе началось во второй половине прошлого века. А настоящее время в мире накоплен значительный опыт строительства шаровых резервуаров различной вместимости.

Строительство шаровых резервуаров заставляет решать проектно-организационные и сварочно-технологические вопросы, предъявляет серьёзные требования к квалификации монтажников, инженерно-технических работников, монтажниками и сварщиков. Это объясняется необходимостью обеспечить при сборке отклонения в пределах допуска. При сварке шаровых резервуаров должны быть минимальны монтажные деформации, а сами швы должны быть высокого качества. Эксплуатация шарового резервуара будет выполняться при высоком внутреннем давлении и воздействии атмосферных явлений.

Сварные швы обладают структурной, химической и механической неоднородностью, в сварной конструкции присутствуют значительные остаточные напряжения. В связи с этим следует особо тщательно относиться к организации и проведению технологического процесса сборки шарового резервуара.

**Цель** настоящей выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварочных работ при строительстве шаровых резервуаров.

# 1 Анализ состояния вопроса сварки шаровых резервуаров

## 1.1 Описание конструкции

Нормативные документы [2–4] идентифицируют шаровой резервуар как опирающуюся на вертикальные трубные стойки шаровую оболочку, которая снабжена наружными площадками обслуживания, шахтной или кольцевой наружной лестницей (рис. 1.1).

Лестница для подъёма на шаровой резервуар выполняется отдельно стоящей и имеет уклон  $45^\circ$ .

Если монтируется два шаровых резервуара сразу, то целесообразно для подъёма на них использовать одну лестницу.

Шаровые резервуары окрашивают в белый цвет, что позволяет защитить их от нагрева солнечными лучами. В районах с климатом, где возможен нагрев содержимого резервуара выше  $45^\circ\text{C}$ , выполняют теплоизоляцию резервуара или его орошение [2].



Рисунок 1.1 – Шаровые резервуары для хранения сжиженного газа

При проектировании оболочек шаровых резервуаров надлежит:

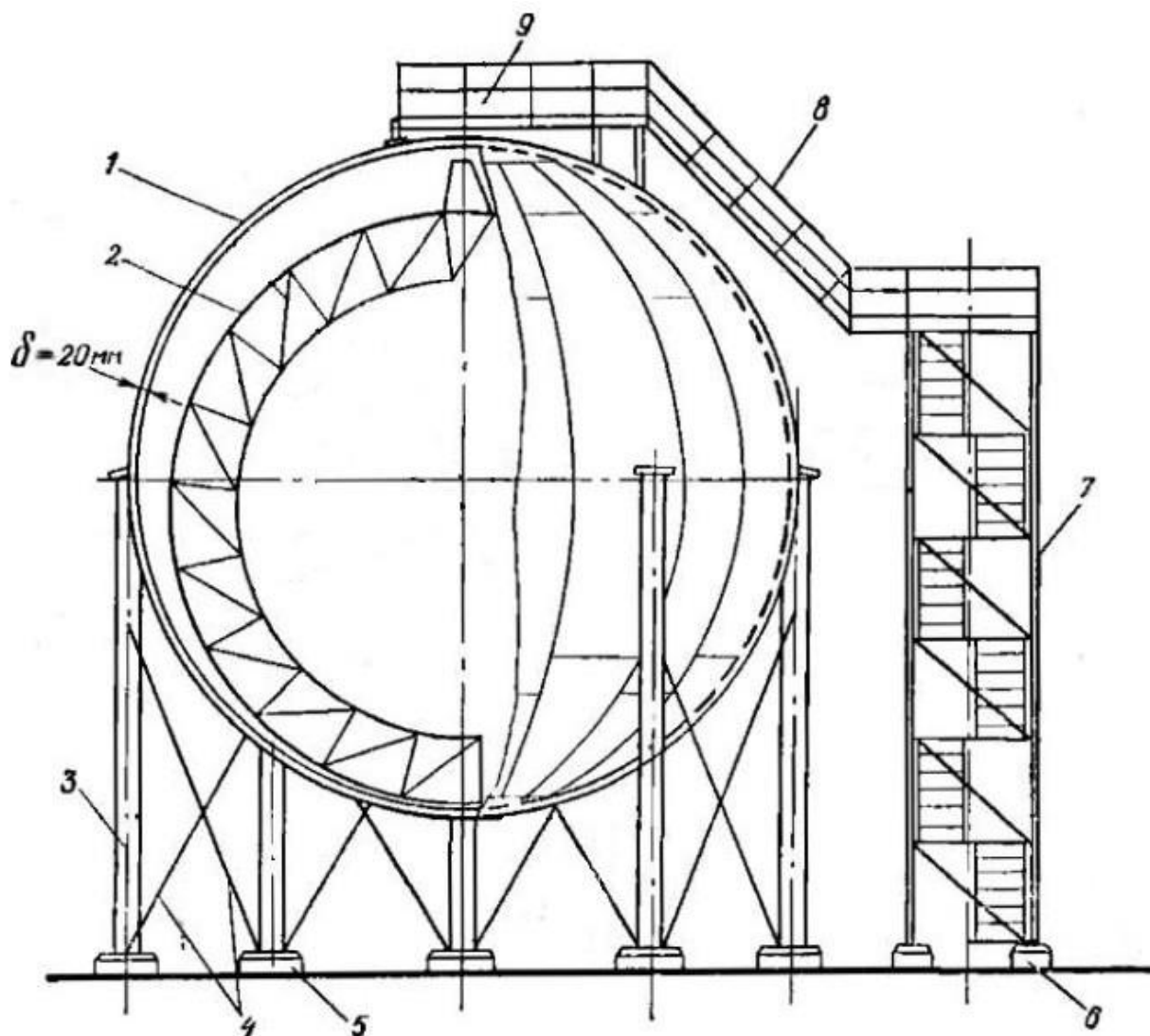
- применять форму лепестков, обеспечивающую наименьший отход листовой стали;
- применять оболочку из стали одной марки;
- число лепестков оболочки принимать четным;
- число стоек принимать четным, предпочтительно, кратным четырём;
- предусматривать сварные соединения встык лепестков с обработанными кромками [6].

Рассматриваемый шаровый резервуар относится к категории сосудов высокого давления, т. к. работают под избыточным давлением выше 0,6 МПа. Поэтому ко всем изготавливаемым и эксплуатируемым на территории РФ шаровым резервуарам предъявляются высокие требования, которые должны соответствовать следующим нормативным документам:

1. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2013);
2. ГОСТ Р 52630-2012 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия»;
3. СП 43.13330.2012 «Сооружения промышленных предприятий».
4. Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением».

При сжижении углеводородных газов их объем значительно уменьшается, что позволяет в 1 м<sup>3</sup> резервуара хранить порядка 300 м<sup>3</sup> сжиженного углеводородного газа. Заполняют резервуар не полностью, а только на 0,85 его герметического объема на случай неожиданного резкого увеличения объема хранимого продукта при повышении его температуры.





1 – оболочка шарового резервуара; 2 – внутренняя смотровая лестница; 3 – проектная опорная стойка; 4 – диагональные связи; 5 – фундамент опорных стоек; 6 – фундамент шахтной лестницы; 7 – шахтная лестница; 8 – переходная площадка; 9 – площадка обслуживания

Рисунок 1.2 – Основные элементы схемы шарового резервуара

Для изготовления рассматриваемого шарового резервуара используется экваториально-меридиональный раскрой, который иногда также могут называть радиально-поясным или меридианально-параллельный. Этот вид раскроя наиболее часто применяется для сооружения шаровых резервуаров большого диаметра. Такие вид раскроя предусматривает разделение резервуара на пояса.

## 1.2 Сведения о материале конструкции

Лепестки и днища шарового корпуса резервуара, усиливающие кольца и штуцера, заглушки и обечайки изготавливаются из стали 09Г2С [6].

Сталь 09Г2С используется при выполнении различных металлических конструкций с применением сварки, которые работают под давлением в условиях воздействия температуры  $-70...+425$  °С. В качестве заменителей стали 09Г2С может выступать стали марки 09Г2 и 09Г2Т, 09Г2ДТ и 10Г2С.

Таблица 1.1 – Содержание химических элементов в стали 09Г2С

С	Mn	Si	Ni	S	P	Cu
0,12	1,3...1,7	0,5..0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,3

Исследования свойств сварных соединений из углеродистых и низколегированных сталей, который были выполнены с применением сварки плавлением [7], позволили установить, что структура и свойства зон сварного соединения имеют существенную неоднородность. В зоне термического влияния обнаружены нежелательные крупнозернистые структуры, высокие остаточные макро- и микронапряжения. Вследствие обнаруженных нежелательных структурных изменений сварные соединения этих сталей обладают пониженными механическими и эксплуатационными свойствами. В результате возникновения остаточных напряжений происходит ускорение коррозионных процессов в металле шва по сравнению. Остаточные напряжения могут стать причинами возникновения трещин, повышают склонность конструкции к хрупким разрушениям, увеличивают скорость протекания коррозионных процессов с металле сварного шва и околошовной зоне по сравнению с основным металлом.

Равнопрочность металла шва и основного металла может быть достигнута благодаря легированию шва элементами, которые переходят из основного металла. Также повышение прочности металла шва и его

стойкости против хрупкого разрушения может быть достигнуто путём дополнительного легирования металла шва через сварочную проволоку.

Стойкость против трещин может быть повышена путём снижения содержания в металле шва таких элементов как углерод и сера, что достигается применением сварочной проволоки с пониженным содержанием углерода и серы. Существенное влияние на прочность сварных соединений оказывает правильный выбор соответствующей технологии сварки, предусматривающей рациональную последовательность выполнения швов и обеспечивающей благоприятную форму провара.

Характер изменения прочностных характеристик трубных сталей в зависимости от температуры нагрева, а также возможность выполнения дуговой сварки на трубопроводе достаточно хорошо изучены [8].

Металлургические и термические процессы при сварке стали 09Г2С несколько отличаются от случая сварки низкоуглеродистых сталей. Сталь 09Г2С имеет большую склонность к образованию закалочных структур в металле шва и околошовной зоне. Из-за увеличения скорости охлаждения при сварке стали 09Г2С в сварных швах может наблюдаться образование мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. При этом мартенсит имеет бесструктурный характер. Образующийся бейнит обнаруживается в виде феррито-карбидной смеси и имеет высокую степень дисперсности. В зависимости от температурного цикла при сварке эти структурные составляющие обнаруживаются с сварном шве в различных количествах. При уменьшении погонной энергии наблюдается увеличение количества мартенсита, бейнита и остаточного аустенита, также увеличивается их дисперсность.

### 1.3 Базовая технология сварки шарового резервуара

Сборка и сварка резервуара выполняется полистовым методом. Полистовая сборка резервуара предусматривает выполнение сварки по мере монтажа отдельных поясов.

На фундаменте устанавливают и выверяют металлические опоры. После этого устанавливают и выверяют днище. После этого устанавливают лепестки первого слоя, укрепляя их с наружной стороны. Первой выполняется сварка меридианных швов первого пояса. Затем приваривается днище. После этого выполняют монтаж и закрепление листов второго пояса, потом выполняют сварку меридианных швов второго пояса. Далее выполняют экваториальный кольцевой шов между поясами. Далее приваривают верхнее днище.

До начала сборки и сварки резервуара допускается длительное хранение лепестков. Хранение каждого лепестка должно производиться в специальном заводском контейнере. Перед сборкой каждый лепесток извлекают из контейнера, укладывают в положение «на ребро» и проверяют наличие на нём заводской маркировки. Если на лепестках маркировка отсутствует, следует получить письменное разрешение на «обезличенную» сборку резервуара. Следует проверить размеры каждого лепестка, которые должны соответствовать чертежам и иметь монтажный припуск.

Далее проверяют отклонение каждого лепестка от проектной геометрической формы шаровой оболочки, которое не должно превышать 10 мм.

Сборка отдельных элементов конструкции при полистовом методе осуществляется с использованием клиновидных стяжных приспособлений. Сборку осуществляют с зазором 2...4 мм, смещение кромок допускается до 1 мм.

При сварке применяются нестандартное соединение без разделки кромок. Такое соединение имеет подварочный шов с глубиной проплавления 5,5...6,5 мм, шириной 8...12 мм и усилением 1...3 мм. Площадь поперечного сечения подварочного шва составляет 35...40 мм<sup>2</sup>. Параметры такого шва позволяют выполнять последующую автоматическую сварку под флюсом без образования прожогов.

Сварку подварочного слоя выполняют способом ручной дуговой сварки. Для выполнения прихваток и сварки подварочного слоя шва применяются электроды УОНИ 13/55 диаметром 5 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Параметры режима сварки: сила сварочного тока – 170...200 А. Ведётся одновременная сварка двумя сварщиками от середины к краям обратно-ступенчатым способом. Меридианные швы первого пояса свариваются снаружи, меридианные швы второго пояса – изнутри, экваториальный шов между поясами – снаружи. Кольцевой шов днища – снаружи, а кольцевой шов купола – изнутри. Такое положение при сварке швов позволяет избежать потолочного положения при выполнении заполняющих слоёв швов.

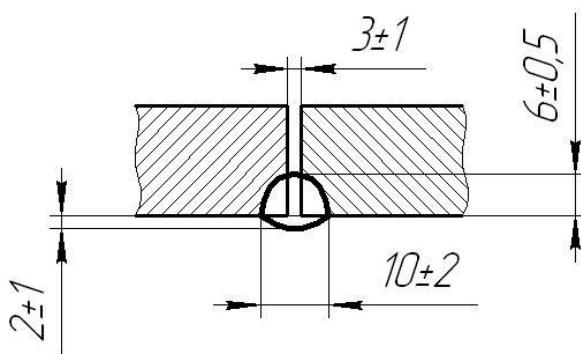


Рисунок 1.2 – Геометрические параметры подварочного шва

Для сварки применяется инверторный источник питания DC400 (рис. 1.3).

После выполнения подварочных швов их следует зачистить абразивным инструментом корень шва и кромки до металлического блеска.

Для зачистки используют машинку шлифовальную угловую и зачистные круги. Разделку стыка продувают сжатым воздухом, удаляя продукты зачистки.



Рисунок 1.3 – Оборудование для выполнения подварочного шва с применением ручной дуговой сварки: источник питания DC400

Далее выполняют автоматическую сварку под флюсом. Параметры режима сварки: сварочный ток – 850...870 А, напряжение на дуге – 36...38 В, скорость сварки – 5 м/ч. Сварку ведут на подъём, при этом угол подъёма должен составлять не менее 5°. В качестве сварочных материалов используют флюс АН-342А и сварочную проволоку Св-08ГА диаметром 5 мм.

Для выполнения автоматической сварки используют сварочный трактор производства фирмы «Ogden» (рис. 1.4), оснащённый подвесной люлькой, смонтированной на неё сварочным узлом, системой подачи и рециркуляции флюса. Питание сварочной дуги осуществляется источником DC600, в качестве сварочной головки используется головка NA3-SF.



Рисунок 1.4 – Испытание сварочного трактора комплектации фирмы «Ogden»

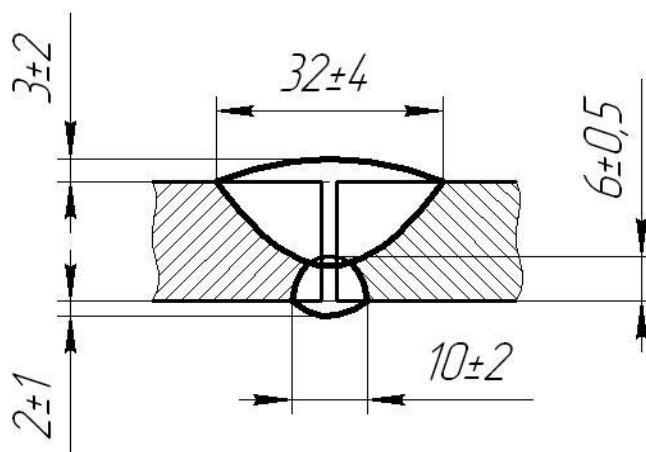


Рисунок 1.5 – Геометрические параметры сварного шва после автоматической сварки под флюсом

#### 1.4 Контроль качества

Визуально измерительный контроль применяется к 100 % кромок лепестков перед сваркой и 100 % сварных швов после сварки. При этом контроль после сварки проводят, чтобы выявить выходящие на поверхность дефекты. Визуально-измерительный контроль проводят после очистки швов и прилегающего к ним основного металла от шлака, брызг и других загрязнений. Визуально-измерительный контроль проводят с двух сторон сваренных деталей по всей протяжённости сварных швов.

Не допускаются следующие дефекты, обнаруживаемые при визуально-измерительном контроле:

- свищи;

- трещины всех видов и направлений;
- подрезы;
- наплывы, незаваренные кратеры, прожоги;
- грубая чешуйчатость сварного шва и глубина впадин между валиками, превышающая 1 мм;
- выходящие на поверхность поры.

Внутренние дефекты обнаруживаются при помощи неразрушающего контроля, который проводится ультразвуковым методом. Обязательному контролю подлежат:

- меридианные швы – 20%;
- кольцевые швы – 20 %;
- места пересечения сварных швов – 100 %;
- сварные соединения внутренних и наружных устройств – 100 %;
- прилегающие к отверстиям люков и штуцеров сварные швы – 100 %.

Не допускаются следующие дефекты, обнаруживаемые при неразрушающем контроле:

- свищи;
- трещины всех видов и направлений;
- непровары;
- поры и шлаковые включения, выходящие за пределы норм.

После изготовления резервуара его следует подвергнуть гидравлическому испытанию. Выполняют заполнение резервуара водой, при этом следует добиться того, чтобы из всех его полостей вышел воздух. Давление следует поднимать равномерно до величины 0,82 МПа со скоростью не более 0,5 МПа в минуту.

Время выдержки под пробным давлением должно составлять не менее 30 минут. Во время испытания не допускается проводить обстукивание по элементам резервуара.



После выдержки под повышенным давлением, давление следует уменьшить до 0,66 МПа, при котором и нужно проводить визуальный осмотр поверхности и сварных соединений. Во время испытаний величину пробного давления контролируют при помощи двух манометров.

После того, как гидравлическое испытание провели, следует полностью удалить из резервуара воду.

Резервуар считается прошедшим гидравлическое испытание, если:

- при визуальном осмотре не было обнаружено признаков разрыва;
- отсутствуют течи в разъёмных соединениях;
- не зафиксировано падение давления по манометрам;
- не обнаружено течи, потения, пузырьков воздуха в сварных соединениях и на основном металле;
- резервуар не получил остаточных деформаций.

### **1.5 Предварительный анализ источников научно-технической информации по теме выпускной квалификационной работы**

Выполнен поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки листовых металлических конструкций, преимущественно резервуаров. Поиск источников научно-технической информации проводился в сети ИНТЕРНЕТ с использованием поисковой системы GOOGGLE по ключевым словам «повышение эффективности сварки», «автоматическая сварка под флюсом», «сварка оболочковых конструкций», «шаровой резервуар».

В первом источнике научно-технической информации [17] приведены результаты по повышению эффективности сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения при импульсном управлении сварочной дугой. Для проведения экспериментальных исследований была использована специальная сварочная установка, позволяющая записывать основные

параметры сварки при регулировании параметров импульсного управления сварочной дугой в широком диапазоне. Установлено, что стабилизация процесса сварки при импульсном управлении сварочной дугой достигается в системах с обратной связью.

Результаты этой работы будут использованы при обосновании выбора способа сварки и составления проектной технологии сварки.

Во втором источнике научно-технической информации [14] описаны мероприятия по повышению эффективности автоматической сварки под флюсом за счёт введения элементов-модификаторов в дополнительную проволоку, подаваемую непосредственно в сварочную ванну, минуя столб дуги. Введение дополнительной горячей присадки при автоматической сварке под флюсом позволяет с большой эффективностью управлять введением элементов-модификаторов, в два раза повысить коэффициент наплавки по сравнению с однодуговой сваркой. Введение дополнительной горячей присадки при автоматической сварке под флюсом позволяет существенно снизить вероятность образования холодных трещин.

Результаты этой работы будут использованы при анализе базовой технологии и обзоре альтернативных способов сварки.

В третьем источнике научно-технической информации [21] рассмотрены меры по повышению эффективности автоматической сварки под флюсом за счёт разработки компьютерной модели. Эта модель позволяет описать процессы формирования неметаллических включений в металле сварочных швов на различных этапах их образования. Эта модель даст возможность использовать методы компьютерного моделирования при решении проблемы повышения работоспособности сварных соединений, разработки сварочных материалов нового поколения с прогнозируемыми свойствами.

Результаты этой работы будут использованы при анализе базовой технологии и обзоре альтернативных способов сварки.

В четвёртом источнике научно-технической информации [22] описаны работы по повышению эффективности сварки самозащитной порошковой проволокой. Разработана технология сварки неповоротных стыков труб порошковой проволокой способом «снизу вверх» с принудительным формированием шва медным водоохлаждаемым ползуном. Порошковая проволока позволяет получать требуемую ударную вязкость металла шва при температуре до минус 40°C, при этом количество дефектов не превышает 5% от общего количества швов.

Результаты этой работы будут использованы при обзоре альтернативных способов сварки.

В пятом источнике научно-технической информации [23] полученная математическая модель, описывающая в аналитической форме зависимость между скоростью подачи электродной проволоки и скоростью ее плавления, может быть использована для расчета условий управления переносом электродного металла при целенаправленно задаваемых импульсах, а также для оценки влияния отклонений в скорости подачи, возникающих по различным причинам, на формирование сварного соединения.

Результаты этой работы будут использованы при составлении проектной технологии сварки.

Таким образом, предварительный анализ источников научно-технической информации позволил установить, что наиболее эффективными способами сварки оболочковых конструкций следует признать:

- автоматическую сварку под флюсом (с её модификациями);
- автоматическую сварку в углекислом газе (с импульсным управлением сварочной дугой);
- автоматическую сварку самозащитной порошковой проволокой.

Именно эти способы сварки следует в первую очередь рассмотреть в качестве альтернативных способов сварки конструкции. Также следует рассмотреть ручную дуговую сварку штучными электродами.

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

Главным недостатком технологического процесса сварки резервуара является применение ручной дуговой сварки при выполнении подварочного шва. Ручная дуговая сварка обладает малой производительностью и приводит к образованию большого числа дефектов при сварке.

Вторым недостатком является применение автоматической сварки под флюсом, которая на относительно коротких меридианных швах не позволяет реализовать свои возможности в полной мере. Достижение поставленной цели может быть осуществлено при условии решения следующих задач:

- 1) анализ альтернативных способов сварки и обоснование выбора способа сварки швов на шаровом резервуаре;
- 2) повышение эффективности выбранного способа сварки;
- 3) составление проектной технологии сварки.

## **2 Проектная технология сварки шарового резервуара**

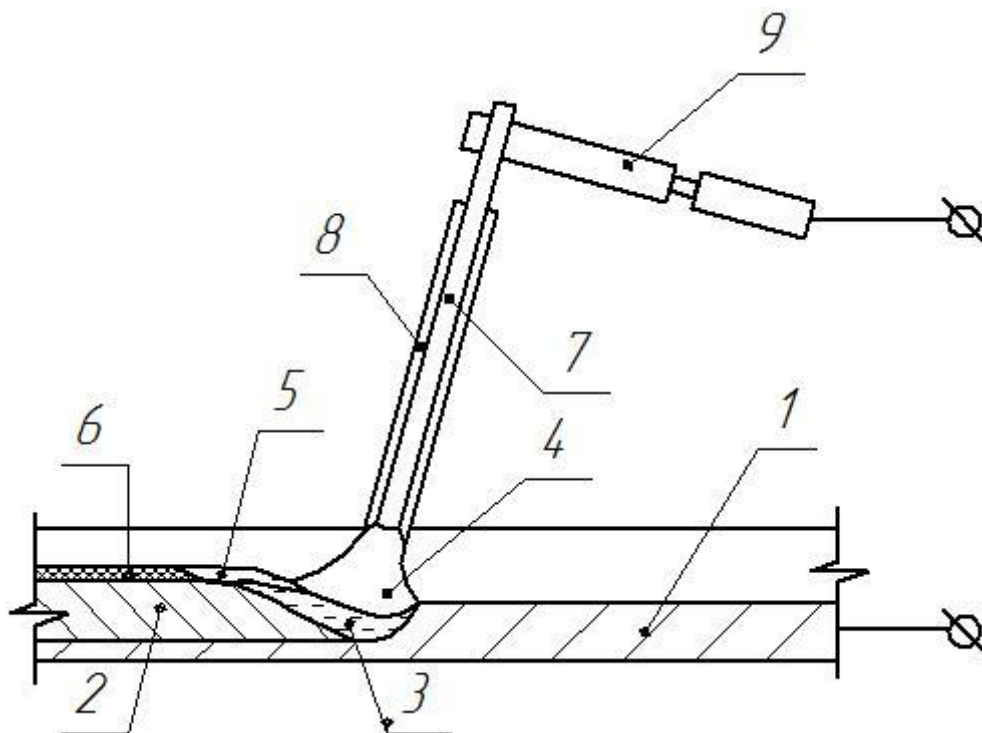
### **2.1 Обоснование выбора способа сварки**

**Ручная дуговая сварка штучными электродами** (рис. 2.1) является наиболее универсальным способом, который нашёл применение при изготовлении различных ответственных конструкций. Сущность ручной дуговой сварки заключается в том, что между сварочным электродом и свариваемым изделием поддерживают горение сварочной дуги, для этого к электроду и изделию подводят постоянное или переменное напряжение. В результате напряжения и горения дуги через цепь протекает сварочный ток, который основное выделение энергии обеспечивает на сварочной дуге. Горение сварочной дуги вызывает расплавление металлического стержня сварочного электрода, основного металла и покрытия сварочного электрода. Металлический стержень сварочного электрода, расплавляясь, каплями переходит в сварочную ванну. Защиту каплей расплавленного металла и сварочной ванны от воздействия окружающего воздуха обеспечивает расплавленный шлак и газ, образующиеся при плавлении и кипении покрытия сварочного электрода. В сварочной ванне происходит смешивание электродного металла с расплавленным основным металлом, а расплавленный шлак всплывает на поверхность.

Сварной шов включает в себя смесь металлов – закристаллизовавшегося металла деталей и металла сварочных электродов.

Преимуществами этого способа являются простота применяющегося оборудования, составления технологии и метрологического обеспечения. При условии обеспечения равномерного плавления металла электрода и обмазки можно гарантировать качественную шлаковую защиту наплавленного слоя. За счёт обмазки электрода существует возможность дополнительного легирования наплавленного металла. Несмотря на своё

широкое и давнее применение, ручная дуговая наплавка имеет ряд недостатков, которые в настоящий момент заставляют искать более перспективные способы восстановления деталей. Первым таким недостатком является малая производительность наплавочных работ. Вторым недостатком является тяжёлые условия ручного труда сварщика. Третьим недостатком является малая стабильность качества наплавки, которая существенно зависит от технологических факторов и от квалификации самого сварщика. Также следует отметить, что частая смена электродов вызывает периодическое прерывание процесса наплавки и потери электродного металла на огарки [9, 10].

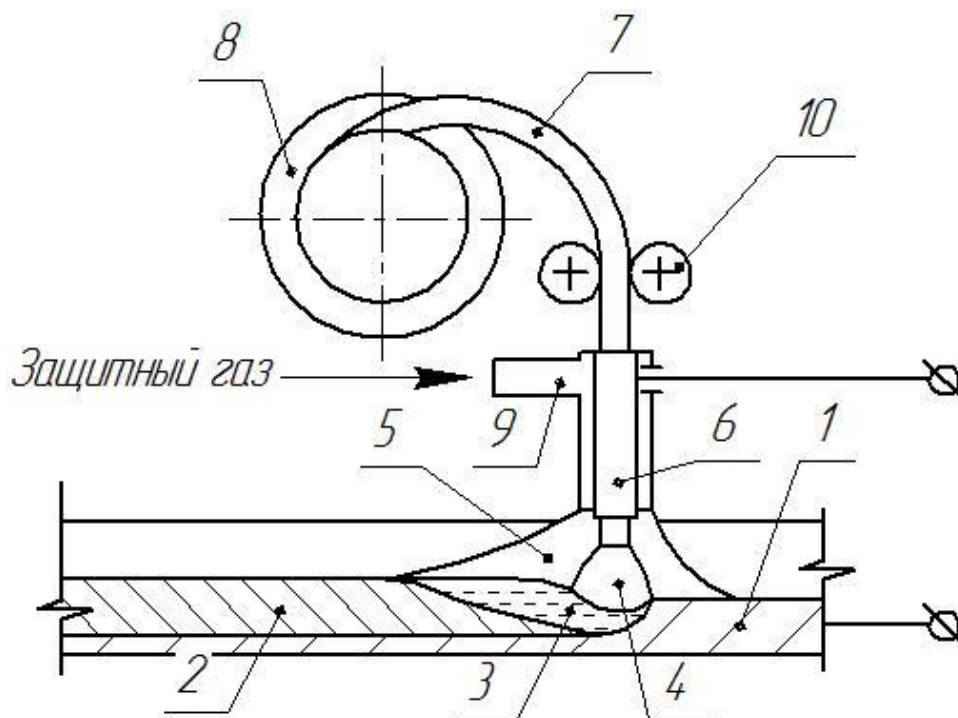


1-металл, наплавленный за предыдущий проход; 2-металл, наплавленный за текущий проход; 3-жидкий металл сварочной ванны; 4-электрическая дуга; 5-слой жидкого шлака; 6-шлаковая корка; 7-стержень электрода; 8-покрытие электрода; 9-электрододержатель

Рисунок 2.1 – Схема выполнения ручной дуговой сварки штучными электродами

Сущность способа дуговой сварки в углекислом газе (рис. 2.2) проволокой сплошного сечения состоит в следующем: в зону горения сварочной дуги через сопло производится подача углекислого газа, который

выполняет защитную функцию. Также в зону горения сварочной дуги подаётся металлическая сварочная проволока сплошного сечения. За счёт теплоты сварочной дуги происходит расплавление основного металла и электродной проволоки. После кристаллизации расплавленный металл сварочной ванны образует сварочный шов.



1-металл, наплавленный за предыдущий проход; 2-металл, наплавленный за текущий проход; 3-жидкий металл сварочной ванны; 4-электрическая дуга; 5-струя защитного газа; 6-подвод тока; 7-сварочная проволока; 8-кассета с электродной проволокой; 9-горелка; 10-ролики подачи электрода

Рисунок 2.2 – Схема выполнения сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения

При сварке в углекислом газе проволокой сплошного сечения диаметр электродной проволоки составляет 0,5...2 мм. Поскольку углекислый газ оказывает окислительное воздействие на расплавленный металл, его следует компенсировать увеличением процентного содержания в электродной проволоке легирующих элементов и элементов-раскислителей. В качестве элементов-раскислителей может выступать марганец или кремний.

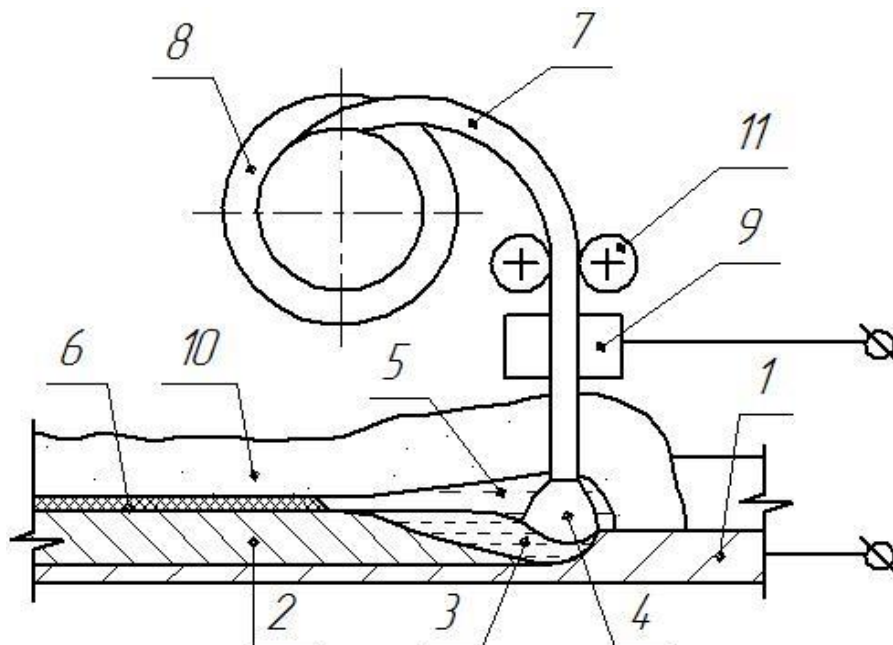
В качестве преимуществ механизированной сварки в активных газах следует отметить: во-первых, хорошую газовую защиту сварочной ванны и металла шва; во-вторых, относительную простоту и малую стоимость сварочного оборудования; в-третьих, высокую производительность. В качестве недостатков механизированной сварки в активных газах следует отметить: в-первых, необходимость в оснащении сварочного оборудования механизмом подачи присадочной проволоки, от особенностей работы которого сильно зависит качество выполняемых сварных соединений [11, 12]; во-вторых, необходимость использования газовых баллонов; в-третьих, необходимость борьбы с разбрызгиванием металла. Главным преимуществом механизированной сварки в среде защитных газов является повышенная вязкость расплавленного металла, позволяющая производить сварку стыковых швов на весу и производить механизацию сварки неповоротных стыков в разных пространственных положениях.

При автоматической сварке под флюсом (рис. 2.3) горение сварочной происходит между сварочным электродом и наплавляемым изделием. При этом на поверхности изделия образуется ванночка расплавленного металла. Сам участок горения дуги покрыт толстым слоем сыпучего флюса. Под действием дуги происходит частичное расплавление флюса, в нём образуется полость с эластичной оболочкой из шлака, в которой и горит сварочная дуга. Слой расплавленного шлака защищает жидкий и перегретый металл от контакта с воздухом, устраняет разбрызгивание электродного металла, сохраняет тепло сварочной дуги.

Автоматическая сварка под флюсом позволяет получить производительность в 3...6 раз выше, чем при ручной дуговой сварке штучными электродами. Такое повышение производительности достигается благодаря тому, что при этом способе сварки применяются большой сварочный ток, плотность которого в электроде существенно превышает плотность при ручной дуговой сварке. Также благодаря применению флюса



существенно сокращаются потери электродного металла на угар и разбрызгивание. В результате этого и происходит увеличение производительности сварки. При этом качество сварного шва и технологические свойства дуги существенно выше.



1-металл, наплавленный за предыдущий проход; 2-металл, наплавленный за текущий проход; 3-жидкий металл сварочной ванны; 4-электрическая дуга; 5-слой жидкого шлака; 6-шлаковая корка; 7-сварочная проволока; 8-кассета с электродной проволокой; 9-подвод тока; 10-нерасплавившийся флюс; 11-ролики подачи электрода

Рисунок 2.3 – Схема выполнения автоматической сварки под флюсом

Поскольку подведения тока к сварочной проволоке осуществляется на относительно небольшом расстоянии от сварочной дуги (приблизительно 70 мм). Это позволяет подвести к сварочной проволоке существенно больший ток, чем при ручной дуговой сварке, не опасаясь перегрева сварочной проволоки. Плотность сварочного тока при автоматической сварке под флюсом может достигать  $200...250 \text{ А/мм}^2$ , при выполнении ручной дуговой сварки штучными электродами плотность тока на электроде обычно не превышает  $15...20 \text{ А/мм}^2$ . Это приводит к увеличению проплавляющей способности сварочной дуги. Появляется возможность обеспечивать сварку

относительно больших толщин без разделки кромок, становится возможным уменьшить требования к точности сборки стыков перед сваркой.

Благодаря обеспечению надёжной защиты сварочной дуги и сварочной ванны от кислорода и азота воздуха, улучшению условий формирования сварного шва, достигается высокое качество сварного шва, однородность металла шва по химическому составу, постоянство геометрии сварного шва. Сварной шов получается очень высокого качества, вероятность появления подрезов, непроваров и других дефектов минимальна. Существенно снижаются затраты электродного металла и электрической энергии. Также следует отметить, что при автоматической сварке под флюсом существенно улучшаются условия труда сварщиков, так как горение дуги происходит под слоем флюса, что снижает до минимума излучение и выделение вредных газов.

Сварка самозащитными порошковыми проволоками (рис. 2.4) обладает положительными свойствами как ручной дуговой сварки, так и механизированной сварки проволоками сплошного сечения в углекислом газе. Эта сварка предоставляет существенные производственные преимущества, особенно в монтажных условиях. При сварке самозащитными проволоками отсутствует необходимость в газовой аппаратуре (баллоны, шланги, редукторы), флюсах и флюсовой аппаратуре, применение которых может существенно усложнить процесс сварки и увеличить его трудоемкость [15, 16].

Характер расплавления дугой порошковой проволоки определяется некоторыми особенностями ее конструкции. Поскольку сердечник порошковой проволоки на 50...70 % состоит из неметаллических материалов, его сопротивление электрическому току на несколько порядков больше, чем сопротивление электрическому току металлической оболочки проволоки. По этой причине практически весь сварочный ток протекает по металлической оболочке, расплавляя ее. Сердечник проволоки, который расположен внутри

оболочки, при этом плавится под действием теплоизлучения дуги и теплопередачи от расплавляющегося металла оболочки. По этой причине сердечник происходит выступание сердечника из оболочки, его касание ванны жидкого металла и частичный переход в сварочную ванну частично в нерасплавленном состоянии. Это вызывает засорение металла шва неметаллическими включениями.

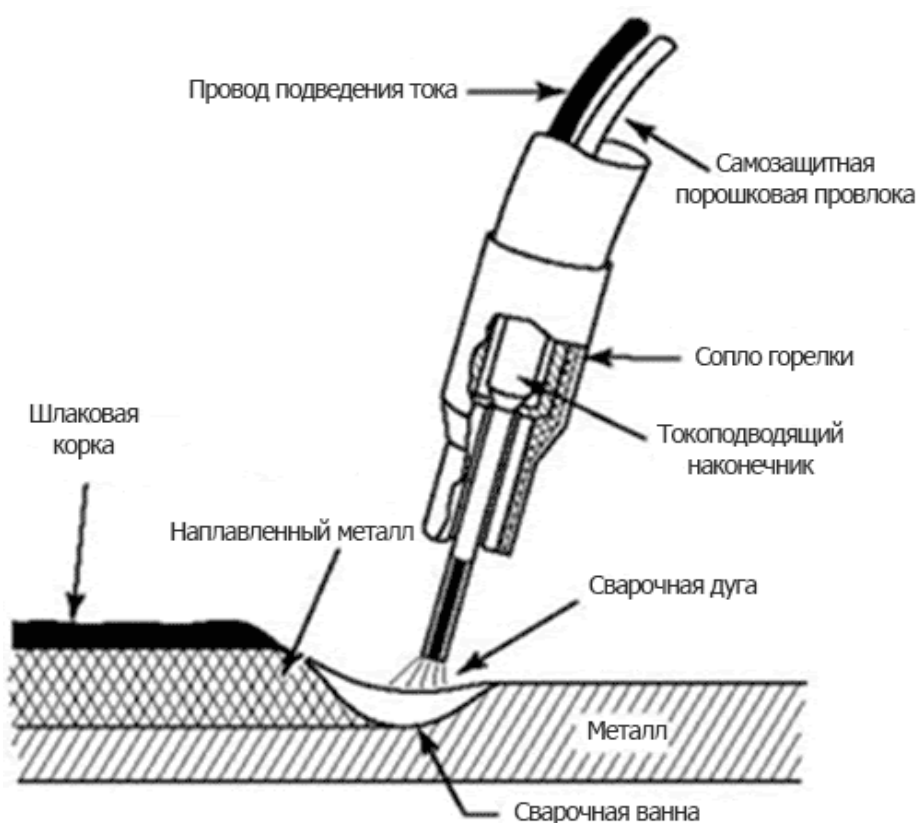


Рисунок 2.4 – Схема выполнения сварки порошковой самозащитной проволокой

Поскольку металлическая оболочка порошковой проволоки обладает малой жесткостью, для её подачи требуется применение подающих механизмов, имеющих ограниченное усилие сжатия в подающих роликах проволоки. Сварку обычно выполняют в нижнем и, очень редко, в вертикальном положениях. Это происходит по причине того, что при сварке порошковой самозащитной проволокой образуется сварочная ванна

повышенного объема, которая покрыта жидкотекучим шлаком. Такая ванна не может удерживаться в вертикальном и потолочном положениях.

Поскольку на поверхности сварочной ванны присутствует шлак, который замедляет кристаллизацию расплавленного металла, ухудшаются условия образования шва в других пространственных положениях, отличных от нижнего. Существенным недостатком порошковых самозащитных проволок, сдерживающим их широкое промышленное применение, является высокая порообразование в металле шва, которое получается по причине наличия пустот в проволоке. Также, нерасплавившиеся компоненты шихты проволоки, которые переходят в сварочную ванну, приводят к появлению газообразных продуктов в металле шва.

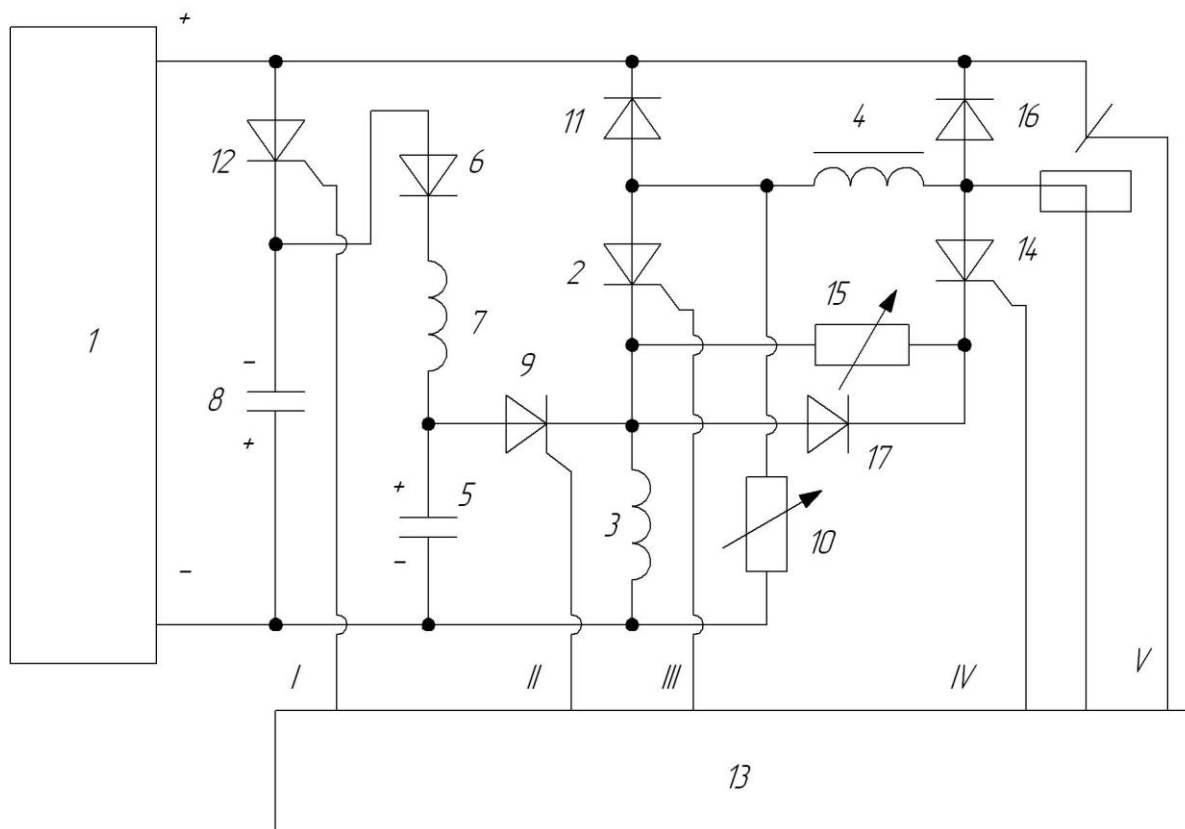
В таких условиях выбор параметров режима сварки (силы тока, напряжения на дуге, вылета электрода) существенно влияет на возможность образования пор в сварном шве. Повышение вероятности образования пор происходит также по причине влаги, попадающей в наполнитель в процессе хранения проволоки. Также на порообразование влияют смазка и ржавчина, следы которых присутствуют на металлической оболочке проволоки.

## **2.2 Повышение эффективности сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения**

Сварка, с помощью которой возможно решить ряд технологических задач, а именно, снижение разбрызгивания, управление переносом электродного металла, управление формированием шва, улучшение технологии сварки в щелевую разделку, возможность выполнения сварки во всех пространственных положениях, улучшение качества сварных соединений, уменьшение вероятности образования дефектов - это импульсно-дуговая сварка.

Устройство для электродуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка (рис 2.5) содержит источник постоянного тока 1, силовой тиристор 2, коммутирующий 3 и сглаживающий 4 дроссели, включенные последовательно в сварочную цепь, коммутирующий конденсатор 5, который через первый блокирующий диод 6 и зарядный дроссель 7 подключен параллельно фильтрующему конденсатору 8, а через вспомогательный тиристор 9 параллельно коммутирующему дросселю 3, первый секционированный резистор 10, подключенный параллельно последовательно соединенным силовому тиристор 2 и коммутирующему дросселю 3, первый шунтирующий диод 11 и импульсный фильтр, образованный последовательно соединенными дополнительным тиристором 12 и фильтрующим конденсатором 8, схему управления 13, последовательно соединенные тиристор 14 и второй секционированный резистор 15, которые через сглаживающий дроссель 4 подключены параллельно силовому тиристор 2, второй блокирующий диод 16, анод которого соединен с анодом тиристора 14, а катод с плюсом источника постоянного тока 1, и второй шунтирующий диод 17, подключенный параллельно второму секционированному резистору 15 в обратном направлении протекания тока короткого замыкания.

Диаграмма тока при импульсном управлении сваркой показана на рис. 2.6. На интервале времени 1-2 происходит протекание тока паузы (капля принимает соосное электроду положение). На интервале времени 2-3 – короткое замыкание (увеличение тока). На интервале времени 3-4 – утонение и разрыв перемычки. На интервале времени 4-5 – стабильное горение дуги (рост новой капли). На интервале времени 5-6 – протекание тока паузы (капля принимает соосное электроду положение).

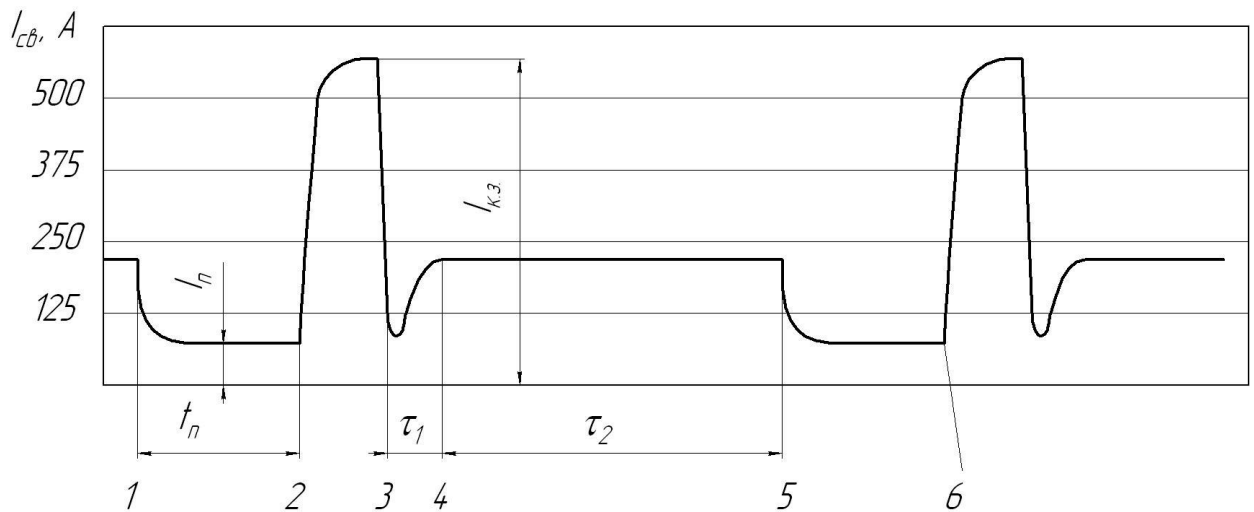


- 1 - источник постоянного тока, 2 - силовой тиристор, 3 – коммутирующий дроссель, 4 - сглаживающий дроссель, 5 - коммутирующий конденсатор, 6 - блокирующий диод, 7 - зарядный дроссель, 8 - фильтрующий конденсатор, 9 - вспомогательный тиристор, 10 - секционированный резистор, 11 - шунтирующий диод, 12 - дополнительный тиристор, 13 - схема управления, 14 - тиристор, 15 - второй секционированный резистор, 16 - блокирующий диод, 17 - второй шунтирующий диод

Рисунок 2.5 – Схема устройства формирования импульсов сварки

При горении дуги электрод интенсивно оплавляется, при этом образующаяся капля жидкого металла смещается на боковую поверхность электрода под действием сил реактивного давления паров испаряющегося металла. После истечения  $(8...10)10^{-3}$  с момента возбуждения дуги сварочный ток снижает до 20...40 А, что значительно снижает силы реактивного давления паров испаряющегося металла, оттесняющих каплю электродного металла на боковую поверхность электрода, и давление дуги на сварочную ванну. Создание таких условий приводит к значительному сокращению дугового промежутка за счет движения капли, стремящейся занять соосное расположение с электродом вследствие непрерывной подачи электрода и движения

металла сварочной ванны, стремящегося заполнить кратер под электродом. Вследствие перечисленных взаимонаправленных движений в первый момент короткого замыкания между каплей и сварочной ванной образуется устойчивая перемычка, достигающая размеров диаметра капли в начале короткого замыкания. При этом по началу короткого замыкания сглаживающий дроссель выключают из сварочной цепи. Это приводит к значительному увеличению скорости нарастания тока короткого замыкания, который с небольшой постоянной времени, обусловленной суммарным активно-индуктивным сопротивлением сварочной цепи, возрастает от минимального значения тока паузы до пикового, определяемого соотношением напряжения холостого хода источника и суммарного омического сопротивления сварочной цепи.



$\tau_1$  - длительность паузы в протекании сварочного тока к моменту разрыва перемычки;  
 $\tau_2$  - длительность дозирования энергии плавления электрода;  $t_n$  - длительность паузы перед коротким замыканием;  $I_{св}$  - ток сварки;  $I_{п}$  - ток паузы;  $I_{к.з.}$  - ток короткого замыкания

Рисунок 2.6 – Диаграмма тока по предлагаемому способу

Резкое увеличение тока короткого замыкания приводит к увеличению электродинамической силы, направленной от электрода к сварочной ванне и стремящейся ускорить переход электродного металла в сварочную ванну за счет действия сил пинч-эффекта по линии расплавления электрода. Это

приводит к сокращению длительности короткого замыкания с  $(4...5)10^{-3}$  с (средняя длительность короткого замыкания при наличии в цепи протекания тока сглаживающего дросселя) до  $(1,5...2) 10^{-3}$  с.

Сокращение длительности короткого замыкания позволяет при незначительном напряжении холостого хода увеличить подачу электродной проволоки до 400 м/ч. Среднее значение сварочного тока возрастает при этом до 200...220 А, что приводит к увеличению производительности процесса сварки на 25...30 % при высокой стабильности процесса.

Сварка осуществляется с помощью каретки (рис. 2.7), оснащенной колебательным механизмом (осциллятором) и перемещающейся по жесткой направляющей, крепящейся к стенке резервуара с помощью постоянных магнитов. Для удобства контроля сварочного процесса может использоваться специальный подвесной балкон с поднимающейся платформой.

Трактор содержит: каретку 1, катушку 2, сварочную горелку 3, каретку ультразвукового контроля 4, блок записи результатов ультразвукового контроля 5, контрольные датчики 6.

### **2.3 Операции проектной технологии сварки шарового резервуара**

Сварку подварочного слоя выполняют механизированную в углекислом газе проволокой сплошного сечения. Параметры режима сварки: сила сварочного тока – 240...260 А, напряжение на дуге – 30...32 В, проволока Св-08Г2С диаметром 1,6 мм. Ведётся одновременная сварка двумя сварщиками от середины к краям обратно-ступенчатым способом. Меридианные швы первого пояса свариваются снаружи, меридианные швы второго пояса – изнутри, экваториальный шов между поясами – снаружи. Кольцевой шов днища – снаружи, а кольцевой шов купола – изнутри. Такое положение при сварке швов позволяет избежать потолочного положения при выполнении заполняющих слоёв швов.



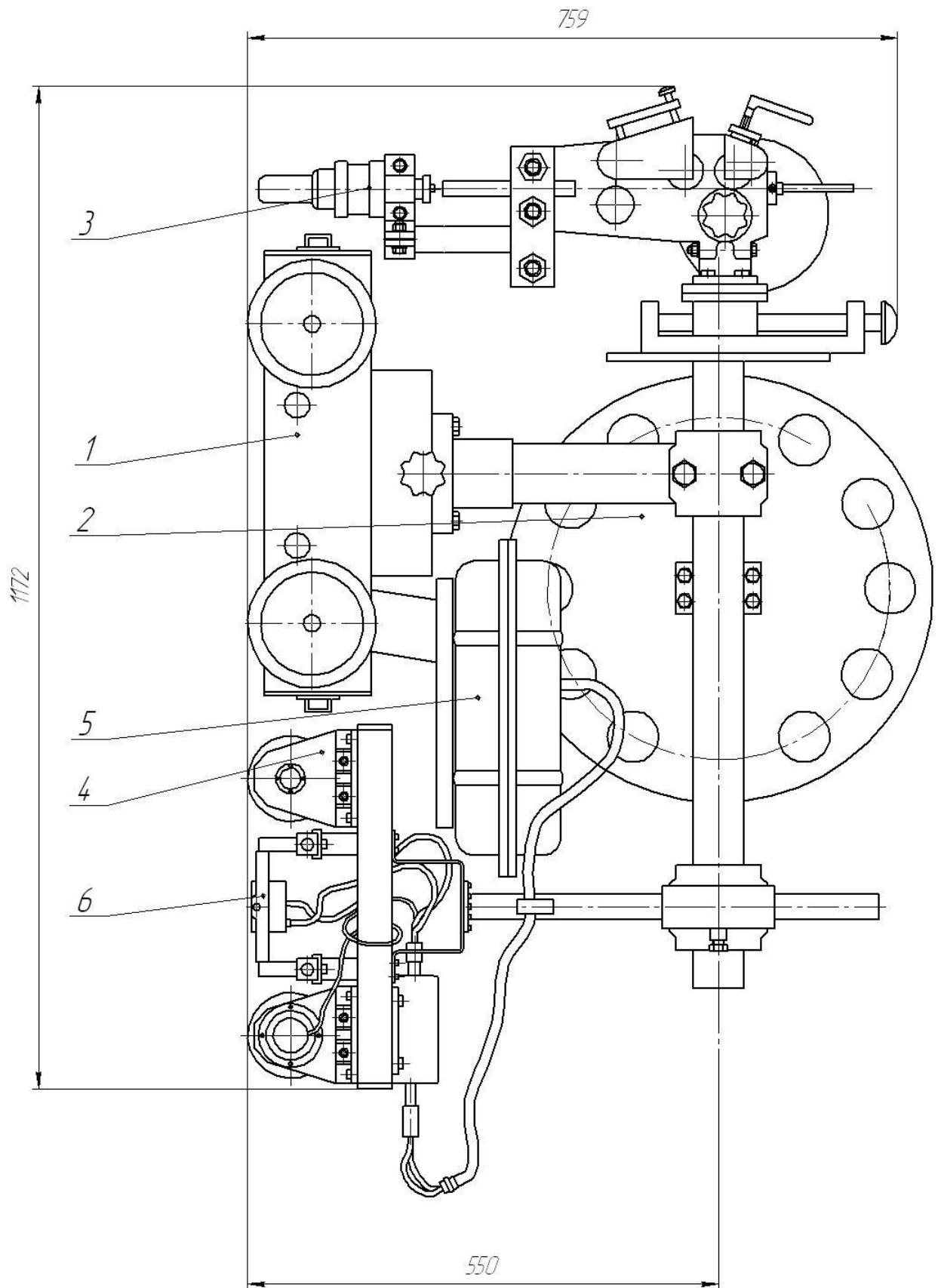


Рисунок 2.7 – Сварочный трактор

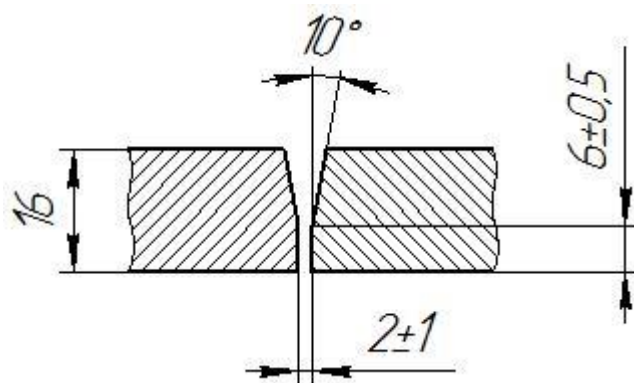


Рисунок 2.8 – Геометрические размеры подготовки кромок

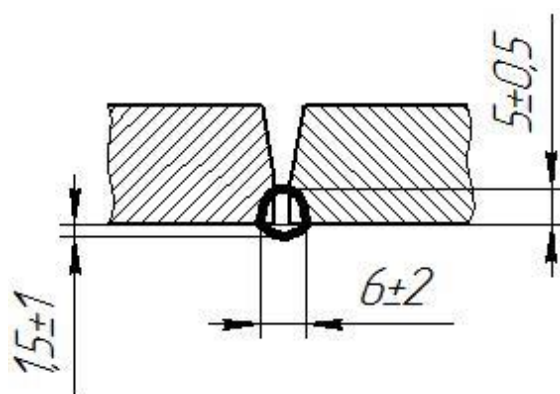


Рисунок 2.9 – Геометрические параметры подварочного шва

Для сварки применяется инверторный источник питания DC400 (рис. 2.10, а) и полуавтомат ПМ 4.33 (рис. 2.10, б), имеющий механизм подачи с закрытой катушкой.



Рисунок 2.10 – Оборудование для выполнения подварочного шва: источник питания DC400 (а) и полуавтомат ПМ 4.33 (б)

После выполнения подварочных швов их следует зачистить абразивным инструментом корень шва и кромки до металлического блеска. Для зачистки используют машинку шлифовальную угловую и зачистные круги. Разделку стыка продувают сжатым воздухом, удаляя продукты зачистки.

Выполнение швов в проектной технологии осуществляется с применением автоматической сварки в углекислом газе.

Для сварки используем проволоку Св-08ХГ2С диаметром 1,2 мм. При наличии сертификата и бирок на сварочную проволоку производят сверку соответствия данной проволоки технологической документации. Если сертификат на сварочную проволоку отсутствует, то проводят химический анализ состава проволоки.

При поступлении на предприятие каждой партии проволоки, её следует зарегистрировать в специальном журнале и разместить отдельно. Хранение сварочной проволоки должно происходить в закрытом отапливаемом помещении, при этом температура воздуха внутри помещения не должна опускаться ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность воздуха не должна превышать 80%. Мотки и бухты сварочной проволоки следует оборачивать в бумагу, пленку, мешковину и снабжать металлическими ярлыками предприятия-изготовителя. Перед сваркой, если сварочная проволока имеет загрязнения, она должна быть очищена, следует удалить с поверхности проволоки ржавчину, загрязнения, смазку. После очистки проволоку перематывают в кассеты, которые хранятся на отдельных стеллажах. При приемке защитных газов провернется соответствие паспортных данных требованиям действующих стандартов.

Использование импульсного управления сварочной дугой позволяет существенно повысить проплавленную способность сварочной дуги и выполнять сварку с минимальной (узкой разделкой кромок) (рис. 2.11) [17].

При этом, для нижнего пояса применяется разделка, которая обращена внутрь резервуара, а для верхнего пояса – наружу.

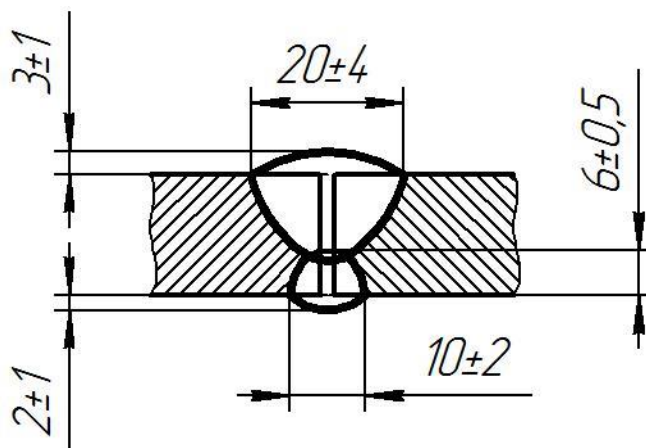


Рисунок 2.11 – Геометрические параметры сварного шва после автоматической сварки в углекислом газе

#### 2.4 Параметры режима сварки

Режим автоматической сварки в углекислом газе проволоками сплошного сечения характеризуется следующими параметрами [18]:

- 1) род тока и его полярность;
- 2) диаметр сварочной проволоки  $d_э$ ;
- 3) сила сварочного тока  $I_{св}$ ;
- 4) напряжение дуги  $U_д$ ;
- 5) скорость подачи проволоки  $V_{пр}$ ;
- 6) вылет электрода  $l_{пр}$ ;
- 7) расход углекислого газа  $Q_г$ .

Значение  $I_{св}$  силы сварочного тока должно быть назначено исходя из условия получения гарантированного провара основного металла на необходимую глубину, для этого воспользуемся формулой:

$$I_{св} = \frac{\pi \cdot d_э^2}{4} \cdot a = \frac{3,14 \cdot 1,6^2}{4} \cdot (120...130) = 240...260 \text{ А} \quad (2.1)$$

где  $d_э$  – диаметр электродной проволоки, мм, принимаем 1,6 мм;  
 $a$  – плотность тока, при которой обеспечивается проплавление основного металла, принимается из диапазона 120...130 А/мм<sup>2</sup>.

Назначение коэффициента расплавления электродной проволоки выполним исходя из расчётов по формуле:

$$a_p = 3,0 + 0,08 \frac{I_{св}}{d_э} = 3,0 + 0,08 \frac{240}{1,6} = 15 \text{ г} \cdot \text{А/ч}, \quad (2.2)$$

где  $d_э$  – диаметр электродной проволоки, мм, принимаем 1,6 мм;  
 $I_{св}$  – принятое значение сварочного тока, А.

Назначение скорости подачи электродной проволоки выполним исходя из расчётов по формуле:

$$V_{п} = \frac{4 \cdot \alpha_p \cdot I_{св}}{\pi \cdot d_{эл}^2 \cdot \gamma} = \frac{4 \cdot 15 \cdot 240}{3,14 \cdot 1,6^2 \cdot 7,8} = 230 \text{ м/ч} \quad (2.3)$$

где  $I_{св}$  – принятое значение сварочного тока, А;  
 $\alpha_p$  – принятое значение коэффициента расплавления электродной проволоки,  $\alpha_p = 15 \text{ г} \cdot \text{А/ч}$ ;  
 $\gamma$  – плотность наплавленного металла, принимаемая  $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$ ;  
 $d_{эл}$  – диаметр электродной проволоки, мм, который ранее был принят как  $d_{эл} = 1,6 \text{ мм}$ .

Назначение коэффициента наплавки электродной проволоки выполним исходя из расчётов по формуле:

$$a_n = a_p (1 - \psi) = 15(1 - 0,1) = 13,5 \text{ г/А} \cdot \text{ч}, \quad (2.4)$$

где  $\psi$  – коэффициент потерь на угар и разбрызгивание (при сварке в углекислом газе  $\psi=0,1\dots0,15$ )

Назначение скорости сварки выполним исходя из расчётов по формуле:

$$V_{\text{св}} = \frac{\alpha_{\text{н}} \cdot I_{\text{св}}}{100 \cdot F_{\text{в}} \cdot \gamma} = \frac{13,5 \cdot 240}{100 \cdot 0,1 \cdot 7,8} = 41,5, \quad (2.5)$$

где  $F_{\text{в}}$  – площадь наплавленного металла в сварном шве, принимаем  $F_{\text{в}} = 0,1 \text{ см}^2$ ;

$I_{\text{св}}$  – принятое значение сварочного тока, А;

$\alpha_{\text{н}}$  – принятое значение коэффициента наплавки;

$\gamma$  – плотность наплавленного металла, принимаемая  $\gamma=7,8 \text{ г/см}^3$

Расход защитного газа будем задавать в зависимости от принятого значения силы сварочного. Для силы сварочного тока  $I_{\text{св}} = 240\dots260 \text{ А}$  принимает расход газа  $Q_{\text{г}} = 12\dots14 \text{ л/мин}$ .

Значение напряжения сварочной дуги определяется длиной дуги и силой сварочного тока. При увеличении длины дуги возрастает напряжения на дуге. При повышении напряжения на дуге ширина сварного шва увеличивается, а глубина провара уменьшается. Получение валика сварного шва хорошей формы и малые потери электродного металла на разбрызгивание возможны при задании оптимальных значений напряжения дуги. На основании [19, 20] для силы сварочного тока  $I_{\text{св}} = 240\dots260 \text{ А}$  принимаем напряжение дуги  $U_{\text{д}} = 30\dots32 \text{ В}$ .

Таблица 2.1 – Параметры режима сварки

Параметр	Обозначение	Нахлёсточное соединение
Диаметр электродной проволоки	$d_{\text{э}}$ , мм	1,6
Сила сварочного тока	$I_{\text{св}}$ , А	240...260
Напряжение на дуге	$U_{\text{д}}$ , В	30...32
Скорость подачи электродной проволоки	$V_{\text{пр}}$ , м/ч	230...240
Вылет электрода	$l_{\text{вэл}}$ , мм	18...25
Расход газа	$q$ , л/мин	12...14
Скорость сварки	$V_{\text{св}}$ , м/ч	40...45

### 3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

#### 3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки шаровых резервуаров. В соответствии с базовой технологией сварка выполняется с применением автоматической сварки под флюсом.

На основании проведённого анализа возможных способов сварки принято решение о замене автоматической сварки под флюсом на автоматическую сварку в защитном газе проволокой сплошного сечения.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1. Подготовительные и сборочные операции	Слесарь-сборщик	Стойки, уровень, машинка шлифовальная, полуавтомат, источник питания	Круг абразивный, защитный газ, сварочная проволока
2. Выполнение подварочных швов	Электросварщик	Машинка шлифовальная, полуавтомат, источник питания	Круг абразивный, защитный газ, сварочная проволока
3. Выполнение основных швов	Электросварщик	Источник питания, сварочный трактор	Защитный газ, сварочная проволока
4. Контроль качества	Дефектоскопист	Дефектоскоп	Кисточка, масло

## 3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющей о угрозу негативного фактора
1	2	3
1. Подготовительные и сборочные операции	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений</li> </ul>	Стойки, уровень, машинка шлифовальная, полуавтомат, источник питания
2. Выполнение подварочных швов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений</li> </ul>	Машинка шлифовальная, полуавтомат, источник питания



### Продолжение таблицы 3.2

1	2	3
3. Выполнение основных швов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов;</li> <li>- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений</li> </ul>	Источник питания, сварочный трактор
4. Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья;</li> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека</li> </ul>	Дефектоскоп

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	Информирующие об опасности плакаты и надписи, проведение инструктажа персонала	Спецодежда.

### Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	Ограждения от проникновения в опасную зону работников. Информирующие об опасности плакаты и надписи.	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	Устройства, обеспечивающие удаление загрязненного воздуха и поступление чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Заземление оборудования находящегося под напряжением. Периодический контроль состояния изоляции.	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Устройства, обеспечивающие удаление нагретого воздуха и поступление воздуха извне	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения	-

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производственного участка призваны обеспечить защиту от пожара работников предприятия, а также имущество предприятия. Согласно классификации пожаров по виду горючего материала и учетом производственной ситуации следует классифицировать возможный пожар как пожар класса Е: горение веществ и материалов под напряжением электрического тока. В таблице 4.3 выполним анализ основных и вторичных опасных факторов возможного пожара.

Участок, на котором планируются к внедрению разработанные технические предложения, с учетом класса возможного пожара (Е)

необходимо укомплектовать техническими средствами, обеспечивающими защиту от возможного пожара работников и имущества предприятия. Перечень средств для комплектования производственного участка отразим в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

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

Таблица 3.5 – Ведомость технических средств

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

Также для полноценной защиты работников и имущества предприятия необходимы организационные мероприятия. Перечень мероприятий для обеспечения защиты производственного участка отразим в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Мероприятия организационного характера.

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Сварка резервуара	Инструктаж сотрудников производственного участка по 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 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 3.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

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 резервуара	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 3.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при горении дуги.
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме центратора 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.

### 3.6 Заключение по разделу

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

## 4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений

### 4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварки шаровых резервуаров. В соответствии с базовой технологией сварка выполняется с применением автоматической сварки под флюсом.

На основании проведённого анализа возможных способов сварки принято решение о замене автоматической сварки под флюсом на автоматическую сварку в защитном газе проволокой сплошного сечения. За счёт замены способа сварки и использования импульсного управления сварочной дугой предполагается получить снижение трудоемкости сварки и повышение качества выполнения работ.

Таблица 4.1 – Исходные данные для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя в рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	1	1
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	$P_p$		V	V
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	200	200
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	На	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	На.пл.	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м <sup>2</sup>	11	11
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	Цпл	Р/м <sup>2</sup>	3000	3000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт -з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	2000000	2000000
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3

## Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	40	50
Принятое значение стоимость электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,7	0,85
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Объём фонда времени, в течение которого происходит работа наплавочного оборудования, задействованного в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, может быть определён с использованием формулы:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см}, \quad (4.1)$$

где  $T_{см}$  – продолжительность рабочей смены в часах;

$D_p$  – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{п}$  – планируемое количество предпраздничных дней в календарном году;

$T_{п}$  – планируемое сокращение длительности рабочей смены в часах в



предпраздничный день;

$K_{см}$  – количество рабочих смен.

После подстановки в формулу (4.1) численных значений соответствующих переменных, получим:

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

Расчёт эффективного фонда времени работы наплавочного оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам может быть определён с использованием формулы:

$$F_3 = F_H \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где  $B$  – процент планируемых потерь рабочего времени.

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_3 = 2209 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2054 \text{ ч.}$$

### **4.3 Расчет штучного времени**

Оценку штучного времени для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним с использованием формулы:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (4.3)$$

где  $t_{шт}$  – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{маш}$  – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{всп}$  – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{всп} = 10\%$  от  $t_{маш}$ ;

$t_{обсл}$  – время обслуживания – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на обслуживание, текущий и мелкий ремонт технологического оборудования задействованного в выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{обсл} = 5\%$  от  $t_{маш}$ ;

$t_{отл}$  – время личного отдыха – объём времени в часах, которое будет затрачено на работником на обеспечение личных потребностей в отдыхе при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{отл} = 5\%$  от  $t_{маш}$ ;

$t_{п-з}$  – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени:  $t_{п-з} = 1\%$  от  $t_{маш}$ .

После подстановки в формулу (4.3) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$t_{шт.баз} = 60 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 72 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 45 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 54 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы проведения сварочных работ согласно рассматриваемого технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним по формуле:

$$П_{\Gamma} = \frac{F_{\text{э}}}{t_{\text{шт}}}, \quad (4.4)$$

где  $F_{\text{э}}$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{шт}}$  – штучное время в часах, которое затрачивает работник на одно изделие по базовому и проектному вариантам технологии;

После подстановки в формулу (4.4) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$П_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/72 = 28 \text{ резервуаров за год;}$$

$$П_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/54 = 38 \text{ резервуаров за год.}$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы  $П_{\Gamma}=10$  резервуаров в год.

Требуемое в этом случае количество наплавочного оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$n_{РАСЧ} = \frac{t_{шт} \cdot Пг}{F_{\text{Э}} \cdot K_{ВН}}, \quad (4.5)$$

где  $Пг$  – годовая программа – принятое ранее количество изделий, которые необходимо сварить за один календарный год при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$  – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_{\text{Э}}$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$K_{ВН}$  – принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{72 \cdot 10}{2054 \cdot 1,03} = 0,34$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{54 \cdot 10}{2054 \cdot 1,03} = 0,26$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического

оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

$$K_z = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где  $n_{\text{расч}}$  – полученное согласно (4.5) количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$n_{\text{пр}}$  – принятое количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$K_{зб} = 0,34/1 = 0,34,$$

$$K_{зп} = 0,26/1 = 0,26.$$

#### **4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии сварки**

При дуговой сварке используются сварочные материалы. Базовая технология сварки предусматривает автоматическую сварку под флюсом, для которой расходным материалом являются электродная проволока и сварочный флюс. Проектная технология сварки предусматривает применение автоматической сварки плавящимся электродом в защитном газе, для которой расходными материалами будут защитный газ и сварочная проволока. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы

при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{Т-З}, \quad (4.7)$$

где  $C_M$  – цена, определённая для сварочного материала по каталогам предприятий, которые представлены в сети ИНТЕРНЕТ;

$K_{Т-З}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы.

После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_{\text{баз.}} = 12400 \text{ руб.}; M_{\text{проектн.}} = 15700 \text{ руб.}$$

Объём фонда заработной платы (ФЗП) определяется суммой основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$ .

Объём  $Z_{\text{осн}}$  основной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где  $C_{\text{ч}}$  – утверждённая часовая тарифная ставка работника;

$K_{\text{д}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате.

После подстановки в формулу (4.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 72 \cdot 200 \cdot 1,88 = 27072 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 54 \cdot 200 \cdot 1,88 = 20304 \text{ руб.}$$

Объём  $Z_{\text{доп}}$  дополнительной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где  $K_{\text{доп}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы

После подстановки в формулу (4.9) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$\begin{aligned} Z_{\text{доп.базов.}} &= 27072 \cdot 12 / 100 = 3249 \text{ рублей;} \\ Z_{\text{доп.проектн.}} &= 20304 \cdot 12 / 100 = 2436 \text{ рублей;} \\ \text{ФЗП}_{\text{базов.}} &= 27072 + 3249 = 30321 \text{ рублей;} \\ \text{ФЗП}_{\text{проектн.}} &= 20304 + 2436 = 22740 \text{ рублей.} \end{aligned}$$

Объём  $O_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды определим расчётным путём с использованием формулы:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100, \quad (4.10)$$

где  $K_{\text{сн}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды.

После подстановки в формулу (4.10) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\begin{aligned} O_{\text{сс}_{\text{баз.}}} &= 30321 \cdot 34 / 100 = 10309 \text{ руб.}, \\ O_{\text{сс}_{\text{проектн.}}} &= 22740 \cdot 34 / 100 = 7732 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Объём  $Z_{об}$  финансовых затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э}, \quad (4.11)$$

где  $A_{об}$  – финансовые потери от амортизации технологического оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$P_{э-э}$  – финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

Финансовые потери на амортизацию оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot N_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100} \quad (2.12)$$

где  $C_{об}$  – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, определённая по каталогам предприятий в сети ИНТЕРНЕТ;

$N_a$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

$t_{МАШ}$  – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_э$  – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.



После подстановки в формулу (4.12) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{об.б} = \frac{2000000 \cdot 21,5 \cdot 72}{2054 \cdot 100} = 15073 \text{ рублей}$$

$$A_{об.пр} = \frac{2000000 \cdot 21,5 \cdot 54}{2054 \cdot 100} = 11304 \text{ рублей}$$

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам определим расчётным путём с использованием формулы:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{э-э}}{КПД} \quad (4.13)$$

где  $M_{уст}$  – установленная мощность оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Ц_{э-э}$  – принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

КПД – принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса

После подстановки в формулу (4.13) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{э-эб} = \frac{72 \cdot 40 \cdot 3,02}{0,7} = 12425 \text{ рублей}$$

$$P_{э-эпр} = \frac{54 \cdot 50 \cdot 3,02}{0,85} = 9593 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{баз.} = 15073 + 12425 = 27498 \text{ рублей}$$

$$Z_{об\text{проектн.}} = 11304 + 9539 = 20843 \text{ рублей}$$

Значение  $C_{\text{тех}}$  показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}} \quad (4.14)$$

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, значения которых были округлены до целых, имеем:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 12400 + 30321 + 10309 + 27498 = 80528 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 15700 + 22740 + 7732 + 20843 = 67015 \text{ руб.}$$

Значение  $C_{\text{цех}}$  показателя цеховой себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} \quad (4.15)$$

где  $K_{\text{цех}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.15) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 80528 + 1,5 \cdot 27072 = 80528 + 40608 = 121136 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 67015 + 1,5 \cdot 20304 = 67015 + 30456 = 97471 \text{ руб.}$$

Значение  $C_{\text{зав}}$  показателя заводской себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.16)$$

где  $K_{\text{ЗАВ}}$  – принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.16) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 121136 + 1,15 \cdot 27072 = 121136 + 31133 = 152269 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 97471 + 1,15 \cdot 20304 = 97471 + 23350 = 120821 \text{ руб.}$$

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу (табл. 4.2)

Таблица 4.2 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	12400	15700
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	30321	22740
3. Отчисления на соц. нужды	ОСН	10309	7732
4. Объём финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	27498	20843
5. Величина технологической себестоимости	Стех	80528	67015
6. Объём цеховых расходов	Рцех	40608	30456
7. Величина цеховой себестоимости	Сцех	121136	97471
8. Объём заводских расходов	Рзав	31133	23350
9. Величина заводской себестоимости	$C_{\text{ЗАВ}}$	152269	120821

#### 4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам

Значение  $K_{\text{общ}}$  капитальных затрат, которые потребуются для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{3.Б.}, \quad (4.17)$$

где  $K_3$  – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$Ц_{\text{ОБ.Б}}$  –остаточная стоимость в рублях технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство, который определяется по сроку службы этого оборудования;

$n$  – ранее полученное количество единиц технологического оборудования, для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам.

Величину  $Ц_{\text{ОБ.Б}}$  остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Ц_{\text{ОБ.Б}} = Ц_{\text{ПЕРВ.}} - (Ц_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.18)$$

где  $Ц_{\text{ПЕРВ}}$  – рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

$T_{\text{СЛ}}$  – количество лет, в течение которых рассматриваемое оборудование было использовано в технологическом процессе по базовому варианту;

$N_A$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

После подстановки в формулу (4.17) и (4.18) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 1140000 \cdot 0,34 = 387600 \text{ рублей}$$

Величину  $K_{\text{ОБЩ.ПР}}$  общих капитальных затрат для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = K_{\text{ОБ.ПР}} + K_{\text{ПЛ.ПР}} + K_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.19)$$

где  $K_{\text{ОБ.ПР}}$  – расчётный объём капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{\text{ПЛ.ПР}}$  – расчётный объём капитальных вложений в производственные площади, задействованные для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{\text{СОП.ПР}}$  – расчётный объём сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии.

Объём  $K_{\text{ОБ.ПР}}$  капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = Ц_{\text{ОБ.ПР}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{ЗБ}}. \quad (4.20)$$

После подстановки в формулу (2.20) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБ.ПР}} = 2000000 \cdot 1,05 \cdot 0,26 = 546000 \text{ руб.}$$

Объём  $K_{\text{СОП}}$  сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{СОП}} = K_{\text{ДЕМ}} + K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.21)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{\text{МОНТ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

Затраты  $K_{\text{ДЕМ}}$  на демонтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДЕМ}} = \text{Ц}_Б \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.22)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его демонтаж.

После подстановки в формулу (4.22) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 2000000 \cdot 0,05 = 100000 \text{ руб.}$$

Затраты  $K_{\text{МОН}}$  на монтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по проектному варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{МОНТ}} = \Pi_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.23)$$

где  $K_{\text{МОНТ}}$  – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж.

После подстановки в формулу (4.23) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{МОНТ}} = 20800000 \cdot 0,05 = 100000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.21) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

После подстановки в формулу (4.19) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 546000 + 200000 = 746000 \text{ руб.}$$

Размер  $K_{\text{ДОП}}$  дополнительных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩ.ПР}} - K_{\text{ОБЩ.Б.}} \quad (4.24)$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДОП}} = 746000 - 387600 = 358400 \text{ руб.}$$

Размер  $K_{уд}$  удельных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_{Г}}, \quad (4.25)$$

где  $П_{Г}$  – принятое значение годовой программы.

После подстановки в формулу (4.25) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{удБаз.} = 387600/10 = 38760 \text{ руб./ед.}$$
$$K_{удПроектн.} = 746000/10 = 74600 \text{ руб./ед.}$$

#### **4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений**

Снижение  $\Delta t$  трудоемкости при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% . \quad (4.26)$$

После подстановки в формулу (4.26) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{шт} = \frac{72 - 54}{72} \cdot 100\% = 25\%$$



Повышение  $\Pi_T$  производительности труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{ШГ}}}{100 - \Delta t_{\text{ШГ}}} . \quad (4.27)$$

После подстановки в формулу (4.27) численных значений соответствующих переменных, имеем:

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

Снижение  $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$  технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

После подстановки в формулу (4.28) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{80528 - 67015}{80528} \cdot 100\% = 17\%$$

Условно-годовую экономию  $\text{Пр}_{\text{ож}}$  (ожидаемую прибыль) при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} . \quad (4.29)$$

После подстановки в формулу (4.29) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (152269 - 120821) \cdot 10 = 314480 \text{ руб.}$$

Срок  $T_{\text{ок}}$  окупаемости дополнительных капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{у.г.}}} . \quad (4.30)$$

После подстановки в формулу (4.30) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{\text{ок}} = \frac{358400}{314480} = 1,1$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$  в сфере при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{у.г.}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (4.31)$$

После подстановки в формулу (4.31) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Э}_{\Gamma} = 314480 - 0,33 \cdot 358400 = 196208 \text{ руб.}$$

## **Заключение по экономическому разделу**

В проектном варианте технологии предложено заменить автоматическую сварку под флюсом на автоматическую сварку в защитном газе проволокой сплошного сечения. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит существенно повысить производительность и качество выполнения сварочных работ при строительстве шаровых резервуаров.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоёмкость на 25 %, увеличивается производительность труда на 33 %, уменьшается технологическая себестоимость на 17 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 0,3 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,2 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 1,11 года.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности предложенных решений, которые должны быть внедрены в производство.

## Заключение

В работе поставлена цель – повышение производительности и качества сварочных работ при строительстве шаровых резервуаров.

Главным недостатком технологического процесса сварки резервуара является применение ручной дуговой сварки при выполнении подварочного шва. Ручная дуговая сварка обладает малой производительностью и приводит к образованию большого числа дефектов при сварке.

Вторым недостатком является применение автоматической сварки под флюсом, которая на относительно коротких меридианных швах не позволяет реализовать свои возможности в полной мере.

На основании выполненного анализа обоснована эффективность применения автоматической сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

В ходе выполнения анализа состояния вопроса выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу: 1) анализ альтернативных способов сварки и обоснование выбора способа сварки швов на шаровом резервуаре; 2) повышение эффективности выбранного способа сварки; 3) составление проектной технологии сварки.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,2 млн. рублей.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при выполнении сварочных работ на строительстве шаровых резервуаров.

## Список используемой литературы

1. Марюшко, Ю.С. Необходимость актуализации нормативно-технической базы по шаровым резервуарам / Ю.С. Марюшко, М.Э. Дусалимов, А.С. Глазков, Т.Р. Насибуллин // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2018. – № 5-6. – С. 23–27.
2. РД 39-138-95. Нормы технологического проектирования резервуарных парков СУГ М.: Роснефть, 1995. 149 с.
3. РД 03-380-00. Инструкция по обследованию шаровых резервуаров и газгольдеров для хранения сжиженных газов под давлением. М.: Промышленная безопасность, 2009. 79 с.
4. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. М.: НТЦ по безопасности в промышленности, 2008. 188 с.
5. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. М.: Минстрой России, 2017. 148 с.
6. ТУ 3615-018-00217320-2006 Резервуары стальные. Технические условия. Введ. 10.05.2006
7. Горбачёв, С.В. Повышение однородности структуры механических свойств сварных соединений из сталей 20 и 09Г2С в режиме сверхпластической деформации / С.В. Горбачёв, диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук.– Уфа, 2005.
8. Бут, В.С. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации / В.С. Бут, О.И. Олейник // Автоматическая сварка. – 2014. – № 5. – С. 42–50.
9. Потапьевский, А.Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. Юргинский технологический

институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.

10. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах / А.Г.Потальевский. – Издание 2-е. недоработанное. – К.: Экотехнолопя, 2007. – 192 с.

11. Реальные возможности безредукторных механизмов импульсной подачи электродной проволоки / В.А. Лебедев, С.П. Ковешников, Б.Г. Светников, С.И. Полосков // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Ядерная техника и технология. - 1989, Вып. 4. - С. 46-48.

12. Лебедев, В.А. Зависимость между скоростями импульсной подачи электродной проволоки и её плавления при сварке с короткими замыканиями / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2007. – № 4. – С. 19–22.

13. Козырев, Н.А. Разработка новых сварочных флюсов с использованием углеродфторсодержащих добавок / Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, Н.Е. Крюков [и др.] // Теория и технология металлургического производства. – 2018. – № 3. – С. 18–26.

14. Якушин, Б.Ф. О прямом модифицировании сварочной ванны при автоматической сварке под флюсом / Б.Ф. Якушин, С.В. Потапов, В.С. Килёв // Евразийский союз учёных. – 2015. – № 12. – С. 126–133.

15. Шлепаков, В.Н. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей / В.Н. Шлепаков, Ю.А. Гаврилюк, А.С. Котельчук // Автоматическая сварка. – 2010. – № 3. – С. 46–51.

16. Розерт, Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях / Р. Розерт // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 60–64.

17. Крампит, А.Г. Сварка с импульсным питанием в углекислом газе при работе системы с обратными связями / А.Г. Крампит, Н.Ю. Крампит, М.А. Крампит // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1. – С. 715–721.

18. Бабенко, Э.Г. Расчет режимов электрической сварки и наплавки / Э.Г. Бабенко, Н.П. Казанова // Дальневосточный государственный университет путей общения: Хабаровск. – 1999. – 54 с.

19. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г.А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А.И. Акулова, 1978. – 462 с.

20. Котвицкий, А.Д. Сварка в среде защитных газов / А.Д. Котвицкий. – М. : Высш. шк., 1974. – 222 с.

21. Головкин, В.В. Моделирование состава неметаллических включений в металле сварных швов высокопрочных низколегированных сталей / В.В. Головкин // Автоматическая сварка. – 2001. – № 5. – С. 3–7.

22. Романюк, В.С. Высокопроизводительная сварка неповоротных стыков труб порошковой проволокой с принудительным формированием шва / В.С. Романюк, В.Д. Ковалёв, С.А. Резник, А.М. Семенов // Сварщик. – 2001. – № 2. – С. 32–33.

23. Лебедев, В.А. Зависимость между скоростями импульсной подачи электродной проволоки и её плавления при сварке с короткими замыканиями / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. – 2007. – № 4. – С. 19–22.

24. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТГУ, 2000. – 68 с.

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

26. Егоров, А. Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А. Г. Егоров, В. Г. Виткалов, Г. Н. Уполовникова, И. А. Живоглядова – Тольятти, 2012. – 135 с.