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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

15.03.01 Машиностроение
(код и наименование направления подготовки, специальности)

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Сварка подземных ёмкостей из нержавеющей аустенитной стали

Обучающийся Р.М. Суляков _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Представленная выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по изготовлению оболочковых конструкций из нержавеющих аустенинтных сталей. Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки специальными электродами, для неё были сформулированы недостатки. В ходе решения первой задачи на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор автоматической сварки под флюсом для выполнения продольных и кольцевых швов обечаек. Для выполнения прихваток предлагается применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением. В ходе решения второй задачи предложено использовать достижения российской науки в области управления сварочными процессами и переносом электродного металла. В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология сварки резервуаров из нержавеющих аустенитных сталей. Предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми мероприятиями. При выполнении экономического раздела проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. С учётом дополнительных капитальных вложений, которые составляют 239 тыс. рублей, ожидается годовой экономический эффект в размере 845 тыс. рублей.

Содержание

Введение 5
1 Современное состояние сварки резервуаров из аустенитных сталей. . 6
1.1 Описание конструкции и условия эксплуатации резервуара. 6
1.2 Анализ материала для изготовления резервуара 8
1.3 Особенности выполнения базовой технологии сборки и сварки резервуара. 10
1.4 Литературный обзор по вопросу сварки листовых конструкций из нержавеющих сталей. 16
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . 19
2 Проектная технология сборки и сварки резервуара. 20
2.1 Обоснование выбора способа сварки. 20
2.2 Назначение параметров режима сварки и выбор сварочных материалов. 24
2.3 Операции проектного технологического процесса сборки и сварки резервуара. 25
3 Безопасность труда и экологичность. 31
3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений. 31
3.2 Профессиональные риски. 32
3.3 Устранение профессиональных рисков. 34
3.4 Пожарная безопасность предприятия. 35
3.5 Экологическая безопасность производственного участка. 37
4 Экономическая эффективность предлагаемых решений. 39
4.1 Вводные данные для экономического анализа. 39
4.2 Фонд времени работы оборудования. 41
4.3 Штучное время и годовая программа. 42
4.4 Расчёт заводской себестоимости 44
4.5 Капитальные затраты. 51

4.6 Экономические показатели эффективности. 53
Заключение 57
Список используемой литературы и используемых источников. 59

Введение

При изготовлении резервуаров, предназначенных для подземного размещения, значительная роль отводится резервуарам из нержавеющих сталей. Такие резервуары позволяют в течение длительного времени скрытно хранить различные жидкости (питьевая и техническая вода, спирт, топливо). Также подземные резервуары могут являться частью дренажной системы предприятия. Срок службы такого резервуара составляет порядка 50 лет. Поскольку после монтажа резервуара доступ к нему с целью проведения ремонта затруднен, к изготовлению предъявляются повышенные требования по качеству. Поскольку резервуар изготавливается из нержавеющих сталей, то основным способ сварки при может быть ручная дуговая сварка и сварка неплавящимся электродом в защитных газах. Оба эти способа, несмотря на длительный опыт использования, имеют ряд недостатков, которые заставляют вести поиск более эффективных способов сварки. «В настоящее время ручная дуговая сварка уступает свои позиции в пользу механизированных и автоматических способов сварки, что отражается на показателях мирового рынка сварочного оборудования и сварочных материалов и отмечается рядом аналитиков» [8], [20], [21]. В качестве типового резервуара может быть рассмотрен резервуар РГСП-60, для изготовления стенки которого применяется сталь 12Х18Н10Т.

На основании вышеизложенного становится очевидной актуальность выбранного направления исследования и поставленная цель – повышение эффективности сварки листовых конструкций из нержавеющих аустенитных сталей на примере подземного резервуара.

Поиск аналогов и построение проектной технологии следует выполнять на основании достижений современной российской сварочной науки, что позволяет обеспечить промышленный суверенитет в условиях ограничения поставок в Россию высокотехнологичного оборудования и материалов [4], [17], [19].

1 Современное состояние сварки резервуаров из аустенитных сталей

1.1 Описание конструкции и условия эксплуатации резервуара

На рисунке 1 представлен пример стального горизонтального резервуара подземного исполнения, который имеет сокращенное обозначение РГСП. Применение такого резервуара возможно в различных областях промышленности, что объясняется их преимуществами – возможность скрытого хранения веществ, высокая пожарная безопасность, в том числе и защита от попадания осколков, экономя производственной площади, обеспечение тепловой изоляции за счёт естественной температуры земной поверхности. Такие резервуары позволяют выполнять скрытое хранение взрывоопасных веществ и веществ повышенной опасности. Также такие резервуары позволяют обеспечить хранение запасов пожарной воды, которая может быть использована при тушении. Такой запас пожарной воды оказывается очень полезным по причине того, что подача на объект воды со стороны в случае возгорания прекращается, а емкость пожарных машин ограничена.

Рисунок 1 – Пример резервуара горизонтального стального подземного исполнения

В зависимости от назначения для изготовления подземных стальных резервуаров может быть использована сталь ст3, сталь 09Г2С или аустенитная сталь 12Х18Н10Т. Применение аустенитной стали позволяет повысить стойкость подземного резервуара по отношению к коррозии и обеспечивать хранение агрессивных веществ. Рассматриваемый резервуар служит для хранения гликоля и изготавливается из стали 12Х18Н10Т. Сваренный резервуар представлен на рисунке 2. Такие резервуары применяются для подземного хранения гликоля, который используется в фармацевтической промышленности, при производстве пищевых продуктов, изготовлении топлив и антифризов. При обслуживании таких резервуаров очень важно обеспечить защиту хранимого продукта от воздуха и взаимодействия со стенкой резервуара, для чего и применяется аустенитная сталь 12Х18Н10Т.

Рисунок 2 – Резервуары для хранения гликоля

Рассматриваемый резервуар имеет продолженный срок службы за счёт применения в его конструкции коррозионностойкой стали. «Срок службы такого резервуара составляет 50 лет. Толщина стенки резервуара составляет 6 мм. В результате коррозионных процессов потеря толщины стенки составляет 0,01 мм в год. Конструкция рассматриваемого резервуара позволяет выдерживать до десяти тысяч циклов нагружения. Эксплуатация резервуара возможна при температуре от -40 до +100 °С» [8]. Резервуар позволяет выполнять одновременное хранение нескольких жидкостей, так как может иметь несколько разделенных перегородкой емкостей, каждая из которых имеет свою горловину и набор патрубков.

1.2 Анализ материала для изготовления резервуара

Для изготовления резервуара применяется нержавеющая аустенитная сталь 12Х18Н10Т. Состав стали представлен в таблице 1. Рассматриваемая сталь широко применяется в нефтехимической и химической промышленности для изготовления технологических трубопроводов и аппаратов, работающих в агрессивных средах при избыточном давлении и температурах от -196 до +600 °С [25], [26].

Таблица 1 – Состав стали 12Х18Н10Т

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Ti
<0.12	<0.8	<2	9-11	<0.02	<0.035	17-19	<0.3	0,5 – 0,7

При сварке электродами ЦЛ-11 металл сварного шва имеет аустенитную структуру, представленную на рисунке 3. В рассматриваемой стали содержание углерода составляет порядка 0,12 %, что оказывает дополнительное аустенитообразующее действие. Высокая коррозионная стойкости стали обеспечивается повышенным содержанием в ней хрома, которое составляет 17…19 %. Совместное действие содержащегося в стали хрома и никеля также положительно сказывается на структуре металла, в которой преобладает аустенитная составляющая. Наличие в стали кремния и титана способствует образованию в ней некоторого количества ферритной составляющей.

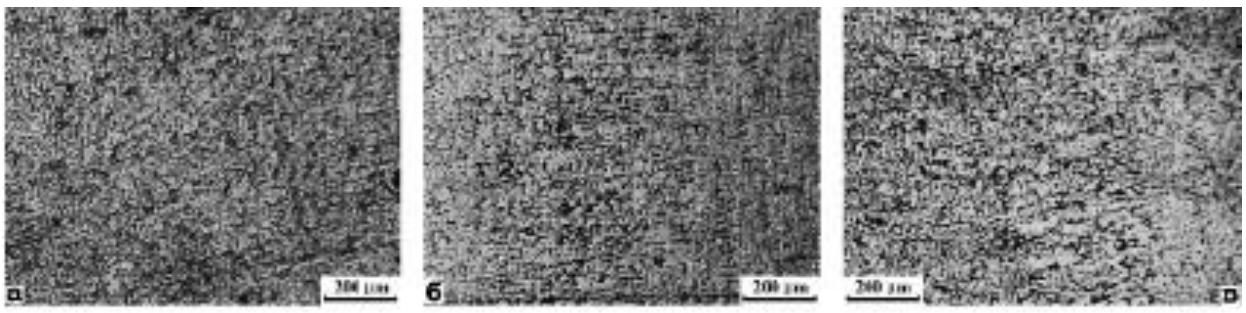

Рисунок 3 – Структура металла сварного шва при выполнении конструкций из стали 12Х18Н10Т ручной дуговой сваркой электродами ЦЛ-11

При сварке конструкций из стали 12Х18Н10Т приходится преодолевать ряд трудностей, наличие которых усложняет технологию сварки. Первой трудностью считается высокая вероятность возникновения горячих трещин по причине «аустенитной структуры металла сварного шва. Второй трудностью является охрупчивание металла в зоне сварного соединения и межкристаллитная коррозия, которая наиболее сильно проявляется в процессе длительной эксплуатации и может послужить причиной выхода изделия из строя» [9]. Третьей трудностью при выполнении сварных конструкций из нержавеющих сталей является из высокий коэффициент линейного расширения по сравнению с низкоуглеродистыми сталями. В результате этого в конструкции развиваются остаточные напряжения, высокий уровень которых приводит к деформированию конструкции, снижению её прочностных и коррозионностойких свойств, усугубляет образование горячих трещин. Четвертой трудностью необходимо указать выгорание легирующих элементов, что становится причиной обеднения металла и снижения его свойств. Для повышения коррозионной стойкости многослойных сварных соединений участки шва, «обращенные к агрессивной среде, следует выполнять в последнюю очередь. Также следует обеспечить гладкую поверхность сварных швов без резких переходов к основному металлу, что позволяет устранить влияние концентраторов напряжений. Сварку следует вести на короткой дуге» [25], что позволяет значительно уменьшить выгорание легирующих элементов и обеднение металла сварного шва. Также при сварке следует применять материалы, состав которых предусматривает компенсацию выгорания легирующих элементов в ходе сварки. Для повышения эксплуатационных свойств сварных швов могут применяться поверхностно-пластическое деформирование, сварка с принудительным охлаждением. Сварка на пониженном сварочном токе. Особое внимание следует уделить отсутствию в сварном шве дефектов, которые могут играть роль концентраторов напряжений и стать причиной развития трещины и аварийного разрушения конструкции в ходе эксплуатации.

1.3 Особенности выполнения базовой технологии сборки и сварки резервуара

Первой операцией является входной контроль материалов, в процессе которой проверяется состояние краев и поверхности листового проката и профилей [5]. Для хранения полуфабрикатов используются закрытые помещения или навесы, необходимо обеспечить защиту заготовок от механических повреждений и повышенной влажности. Также следует предотвратить контакт заготовок из нержавеющей стали с металлическими частями из цветных сплавов. Входной контроль проводят визуальным осмотром поверхности листов с обоих сторон и кромок листов. «Необходимо принимать в работу листы без вздутий, трещин, раковин и разрывов. Допускается устранение дефекта с поверхности листа зашлифовыванием, если это вызывает его утонение не более чем на 0,25 мм. К кромкам листов предъявляются требования по отсутствию разрывов, расслоений и трещин» [5]. Визуальный контроль следует проводить на всех листах. Каждый десятый лист подвергается проверке толщины, которая не должна выходить за пределы допуска.

В процессе приемки сварочных материалов проводят испытания на межкристаллитную коррозию согласно ГОСТ 6032-75. Проверяется документация на каждую партию электродов, которая «должна включать следующую информацию: тип, марку и диаметр электродов; массу электродов НЕТТО, выпускающее предприятие; номер и наименование стандарта, по которому изготовлены сварочные электроды; результаты испытания на соответствие требованиям, номер партии и дата изготовления» [5].

Далее следует заготовительная операция, в ходе которой выполняют правку проката, разметку, резку заготовок.

Для правки листового проката проводится многократное пропускание листа через валки правильной машины. Используется семивалковая машина, правка ведется со скоростью перемещения листа 50…70 мм в секунду. После

выполнения правки листы принимаются в дальнейшую работу при волнистости не более 3 мм на один метр, которая проверяется при помощи металлической линейки.

Разметку листового проката выполняют с применением шаблонов, точность разметки составляет 0,1 мм. Далее выполняют резку листов, для чего используются гильотинные ножницы. Для вырезки в листах отверстий под люки и штуцера применяют воздушно-плазменную резку. Для удаления после резки грата проводят обработку торцев с удавлением дефектного металла на толщину 0,8 мм. «Для подготовки кромок на листах заготовок применяется кромкострогальный станок, позволяющий выполнить за один проход кромку по всей длине листа.

После проведения заготовительных операций проверяют состояние кромок. Качество реза должно позволят проводить сборку и сварку заготовок без проведения дополнительной механической обработки. Неровности на кромках не должны быть более 1 мм и препятствовать дальнейшей сборке изделия. В месте выполнения интенсивной зачистки поверхности следует убедиться, что толщина листа не вышла за пределы допуска» [5].

Далее проводят гибку заготовок. Минимальный радиус гиба, который устанавливается для толщины 6 мм, равен 150 мм. В рассматриваемом изделии радиус гиба составляет 800 мм, поэтому гибка заготовок не должна встретить затруднений. Гибку проводим на гибочной машине ИБ-2416, представленной на рисунке 4. Скорость прохождения заготовки устанавливается 0,17 метров в секунду.

Рисунок 4 – Листогибочная машина ИБ-2416

Заготовки днища выполняют с применением холодной штамповки при помощи гидравлического пресса К04.К3533А, представленного на рисунке 5. Штамповка выполняется с усилием 2МН. Конструкция пресса позволяет вести штамповку заготовок из листов толщиной до 10 мм.

Рисунок 5 – Гидравлический пресс для изготовления днищ

Сборку заготовок выполняют в универсальном сборочном приспособлении. «При сборке зазоры между заготовками должны быть не более 1 мм. Допускается смещение кромок не более 0,5 мм. Сборка, прихватка и сварка выполняются в такой последовательности, которая обеспечивает свободный доступ ко всем выполняемым сварным швам. Операции по прихвате допускается выполнять только после проверки правильности и точности сборки» [24]. Прихватки выполняют на тех же режимах сварки, что и сварные швы.

Прихватку и сварку ведут «с применением сварочного выпрямителя ВДУ-506. Прихватки следует равномерно располагать по периметру стыка с расстоянием между прихватками 150…200 мм при длине каждой прихватки 10…12 мм. Прихватку ведут электродами ОЗЛ-8 диаметром 3 мм. Ток сварки устанавливают постоянным обратной полярности 50…100 А. После выполнения прихваток проводят их визуальный контроль. Требования по качеству к прихваткам такие же, как и требования по качеству к сварному шву.

Не допускаются трещины, непровары, подрезы, наплывы. В случае обнаружения недопустимого дефекта прихватку полностью срезают и переваривают. После выполнения и проверки прихваток проводят приварку входных планок. Устанавливают постоянный ток обратной полярности 90…150 А, приварку планок выполняют с применением сварочного выпрямителя ВДУ-506 электродами ОЗЛ-8 диаметром 3 мм» [24].

«После сборки и прихватки обечаек транспортируют заготовки на участок сварки, укладывают на приспособление и выполняют ручную дуговую сварку продольного шва, который располагается в нижнем положении, сварку ведут снаружи. Для сварки применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506 и электроды ОЗЛ-8 диаметром 4 мм. Ток сварки принимается 90…150 А, сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Начало и конец сварки продольного шва выполняется на входной и выходной планках. После выполнения сварного шва снаружи поворачивают обечайку на 180° и выполняют сварку корневого шва» [24], при этом сварщик располагается внутри обечайки. Последовательность выполнения сварных швов на обечайке представлена на рисунке 6.

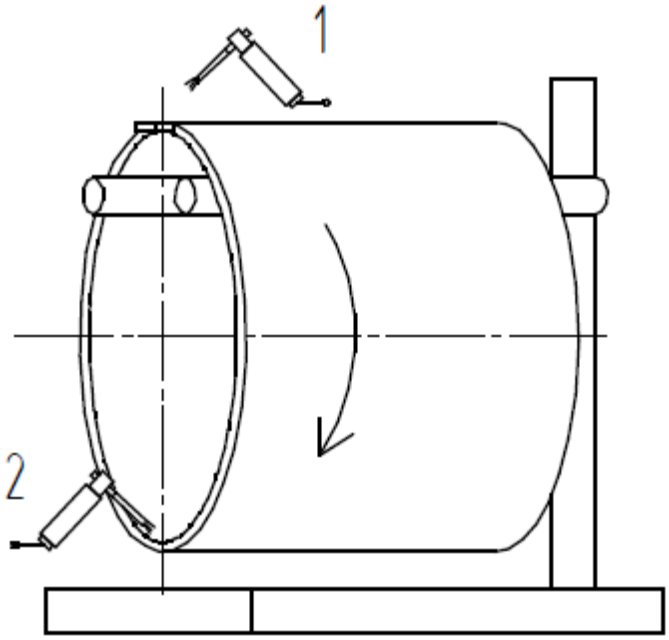

Рисунок 6 – Последовательность выполнения сварных швов на обечайке

После «выполнения сварного шва проводят его зачистку и внешний осмотр. В шве не должны присутствовать прожоги, наплывы, трещины, шлаковые включения и непровары. В случае обнаружения дефектного места его следует вырубить и переварить с последующим контролем качества. На одном месте не допускается исправление дефекта более двух раз.

После сварки обечаек их перемещают на участок сборки и сварки корпуса. Туда же перемещают заготовки днищ. Обечайки стыкуют на вращателе, точность сборки должна обеспечивать зазоры не более 1 мм и смещение кромок не более 0,5 мм. Фиксирование обечаек выполняется при помощи прихваток. Прихватки следует равномерно располагать по периметру стыка с расстоянием между прихватками 150…200 мм при длине каждой прихватки 10…12 мм. Прихватку ведут электродами ОЗЛ-8 диаметром 3 мм. Ток сварки устанавливают постоянным обратной полярности 50…100 А. После выполнения прихваток проводят их визуальный контроль. Требования по качеству к прихваткам такие же, как и требования по качеству к сварному шву. Не допускаются трещины, непровары, подрезы, наплывы. В случае обнаружения недопустимого дефекта прихватку полностью срезают и переваривают. При сборке следует обеспечить расстояние между соседними продольными стыками не менее 400 мм» [24].

Сварку кольцевого шва ведут в два прохода, как это показано на рисунке 7. «Сначала выполняют сварку внешнего слоя, потом подварку корня. Это обеспечивает высокие коррозионные свойства сварного шва, обращенного к агрессивной среде. Для сварки применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506 и электроды ОЗЛ-8 диаметром 4 мм. Ток сварки принимается 90…150 А, сварку ведут на постоянном токе обратной полярности» [24].

После выполнения сварки и остывания шлака следует выполнить очистку поверхности деталей от шлака и брызг расплавленного металла. Далее проводят визуальный контроль качества. Невооруженным глазом и с применением комплекта для визуально-измерительного контроля. В состав комплекта входит «футляр для хранения, в котором помещены инструкция для

проведения контроля, электрический фонарик, набор луп увеличением 3, 4, 7 и 10 крат без подсветки. Лупа увеличением 3,5 крат с подсветкой, электрический фонарик, металлическая линейка, штангенциркуль, универсальный шаблон сварщика, набор радиусных шаблонов, рулетка, маркер по металлу, набор щупов. В ходе проведения визуального контроля не допускается грубая чешуйчатость сварного шва, наплывы и подрезы более 0,5 мм. Не допускаются трещины всех видов и направлений, выходящие на поверхность поры размером более 2 мм, занижение сварного шва. Если обнаружен недопустимый дефект, дефектное место вырубают и переваривают» [24].

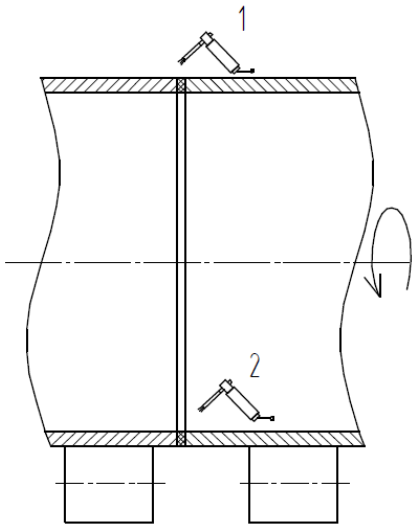

Рисунок 7 – Последовательность выполнения кольцевого шва

Если в процессе контроля были обнаружены поры и шлаковые включения, их высверливают или вырубают, потом заваривают. Если обнаружен подрез глубиной не более 1 мм, его можно удалить зачисткой без сварки. Далее проводят проверку резервуара на герметичность. Для этого снаружи покрываю его мыльным раствором, а внутрь подают воздух под давлением. «По образующимся мыльным пузырькам определяют место сквозного дефекта. Давление воздуха при проверке составляет 4 атм. Мыльный раствор приготовляется из 50 граммов хозяйственного мыла на 1 литр воды» [24].

1.4 Литературный обзор по вопросу сварки листовых конструкций из нержавеющих сталей

Для того, чтобы при построении проектной технологии применить наиболее современные и эффективные способы организации сварочного производства, были проведены литературные изыскания в области расширения технологических возможностей сварки оболочковых конструкций из нержавеющих сталей. Поиск источников научно-технической информации выполнялся с применением системы ГУГЛ по ключевым словам. Кроме того, был выполнен экспертный поиск в таких информационных ресурсах, как «Киберленинка» (содержит тексты научных статей по техническим наукам), «ДиссерКэт» (содержит тексты диссертаций и авторефератов к диссертациям)

В первой работе [10] выполнена оценка эффективности базовой технологии сварки кожуха нагревательного прибора из стали 12Х18Н10Т. На основании анализа конструкции и возможностей производства сделан вывод о перспективности применения одновременной сварки двух поперечных швов, для чего была модернизирована сварочная установка. После оптимизации параметров режима сварки удалось существенно снизить разбрызгивание и повысить стабильность качества сварного шва. При этом удалось обеспечить стабильный процесс формирования обоих швов при одинаковой линейной скорости перемещения сварочного горелки относительно заготовок.

Данная работа показывает перспективность применения автоматической сварки неплавящимся электродом в инертных газах, которая с успехом может быть применения для изготовления оболочковых конструкций из нержавеющих сталей. Работа будет использована для обоснования выбора способа сварки.

Во второй работе [16] проведены исследования по продлению ресурса резервуаров из нержавеющих сталей за счёт повышения стойкости по отношению к питтинг-коррозии. Следует отметить высокую склонность

сварного шва в конструкциях из стали 12Х18Н10Т_к питтинг-коррозии, которую необходимо снижать с применением механической обработки. Для повышения стойкости поверхности сварного соединения против коррозионных процессов предлагается применить полировку, которая показала высокую эффективность. Кроме того, чистота обработки не является определяющей при снижении склонности к питтинг-коррозии, так как даже при наличии видимых рисок механически обработанные образцы показали хорошую стойкость против коррозии. Против коррозии может быть применено поверхностно-пластическое деформирование. Также установлено, что скорость коррозии при подогреве агрессивных жидкостей снижается, если их подогрев вести не через стенку резервуара, а изнутри резервуара, нагревая саму жидкость, что позволяет продлить ресурс резервуаров.

Данная работа показывает эффективность механической обработки сварных швов, что повышает стойкость соединений против питтинг-коррозии. Результаты этой работы будут использованы при составлении проектной технологии сварки резервуара.

В третьей работе [18] показано, что применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей из нержавеющих сталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств. Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей из нержавеющих сталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги.

Результаты этой работы показывают эффективность сварки и наплавки деталей из нержавеющих сталей проволоками сплошного сечения в защитных

газах с импульсным управлением. Работа будет использована при обосновании выбора способа сварки и построения проектной технологии сварки резервуара.

В четвертой работе [6] установлено, что при расчётном определении активности компонентов в двойных системах «железо-хром», «железо-никель» и «хром-никель» установлено, что по сравнению с трехкомпонентной системой «железо-хром-никель» активность элементов значительно выше. Эти результаты позволяют повысить точность расчётной оценки эффективности состава проволок при расчётном и натурном исследованиях. На основании математического моделирования установлены закономерности перехода газов из газовой составляющей проволоки и шлаковой составляющей проволоки в металл сварного шва. На основании проведенных исследований предложен состав порошковой проволоки, обеспечивающий высокое качество сварного шва и сопротивление его коррозии при изготовлении конструкций из нержавеющих аустенитных сталей.

Данная работа показывает высокую эффективность применения сварки порошковыми проволоками при изготовлении конструкций из нержавеющих аустенитных сталей и будет использована для обоснования выбора способа сварки для построения проектной технологии изготовления подземного резервуара.

В пятой работе [13] «показана опасность концентраторов напряжений в сварных конструкциях из стали 03Х20Н16АГ6 и стали 12Х18Н10Т. Получены диаграммы развития усталостных трещин в условиях действия знакопеременных нагрузок с различной степенью асимметрии. Предложены меры по повышению сопротивляемости сварных конструкций против усталостных трещин» [13].

Данная работа может быть использована при изменении конструкции подземного резервуара и составления технологических требований к сварным швам при составлении проектной технологии.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварки листовых конструкций из нержавеющих сталей на примере воздуховодов резервуара горизонтального стального подземного исполнения. Базовая технология сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки покрытым электродом. Применение такого способа обусловлено универсальностью ручной дуговой сварки и малыми капитальными вложениями в организацию производства, так как необходимое оборудование и персонал достаточной квалификации уже имелся на предприятии. На основании анализа исходных данных и известных решений могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, решение которых обеспечит достижение поставленной цели. Первой задачей является обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии. После выпуска пробной партии резервуаров предприятию необходимо наращивать выпуск изделий, поэтому необходим поиск решений по повышению производительности процесса изготовления. На основании экспертной оценки альтернативных способов сварки следует выбрать способ, применение которого при реализации проектной технологии позволит обеспечить сочетание производительности и качества. Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки с использованием достижений российских исследователей. «Третьей задачей является построение проектной технологии сборки и сварки изделия, которая предусматривает составление списка операций, формулирование условий и требований к их выполнению, выбор технологического оборудования и назначение параметров режима. При выполнении оценочных разделов предстоит провести экологическое» [2], [7] и экономическое обоснование предлагаемых решений [12], [14], [15]. В заключении предстоит показать достижение поставленной цели и сформулировать направления дельнейших исследований.

2 Проектная технология сборки и сварки резервуара

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Для выполнения ответственных конструкций из нержавеющих сталей с учетом толщины и активности свариваемого металла могут быть применены такие способы, как «ручная дуговая сварка покрытыми электродами, аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, автоматическая сварка под флюсом, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка порошковой проволокой» [24].

Самым универсальным способом может быть признана ручная дуговая сварка, продолжающая играть ведущую роль в изготовлении сварных конструкций. Высокая универсального способа позволяет осваивать выпуск новых изделий без приобретения дорогостоящего сварочного оборудования и подготовки персонала, так как необходимые сварочные выпрямители и сварщики необходимой квалификации уже присутствуют на предприятии. Высокая технологическая гибкость ручной дуговой сварки позволяет осваивать сварку новых изделий, используя навыки и оборудование. Однако ручной дуговой сварке присущ ряд недостатков, невозможность устранения которых заставляет рассматривать другие способы для замены ручной дуговой сварки. «Недостатками ручной дуговой сварки являются значительное термическое влияние на основной металл, значительное количество дефектов, низкая производительность из-за необходимости смены электродов и тщательной очистки поверхности изделия от шлака» [24]. Качество сварного шва в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что требует от предприятия вложений в подготовку персонала и создает трудности с подбором кадров.

Другим распространенным способом при изготовлении конструкций из нержавеющих сталей является аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, которая позволяет обеспечить самое высокое качество из

рассматриваемых способов. «Для повышения производительности может быть применена комбинированная сварка, предусматривающая выполнение прихваток и корневого слоя шва аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки ручной дуговой сваркой или механизированной сваркой порошковой проволокой» [24]. Аргонодуговая сварка позволяет в широких пределах регулировать и поддерживать заданный состав металла сварного шва за счёт малого выгорания легирующих элементов. При сварке необходимости прерывать процесс на очистку поверхности сварного шва, что положительно сказывается на качестве соединения. Зона термического влияния по сравнению с ручной дуговой сваркой значительно уменьшается, внешний вид и качество сварного шва существенно повышаются. Также следует отметить улучшение условий труда сварщика и общее повышение уровня производства по сравнению с ручной дуговой сваркой. Следует указать недостатки аргонодуговой сварки неплавящимся электродом ограничивает её применение в промышленности. Во-первых, это высокая стоимость оборудования по сравнению с оборудованием для ручной дуговой сварки. Во-вторых, производительность сварки значительно снижается. Кроме того, при сварке требуется привлечение специалистов высокой квалификации, что заставляет увеличивать фонд заработной платы.

Применение автоматической сварки под флюсом позволяет успешно бороться с разбрызгиванием электродного металла и вредным излучением дуги. Также следует отметить высокое качество сварного шва и легкую отделимость шлаковой корки. Основным недостатком сварки под флюсом следует считать перегрев основного металла, который может оказаться критическим при выполнении сварных конструкций из аустенитных сталей. Кроме того, до конца не решен вопрос просыпания флюса при выполнении кольцевых швов, так как в этом случае предстоит значительно усложнить конструкцию сварочного приспособления, чтобы получить возможность вращения изделия и сварки в нижнем положении. Также следует указать на

высокую текучесть флюса и расплавленного металла, что предъявляет повышенные требования к качеству сборки.

«Сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет значительно повысить производительность сварки по сравнению со сваркой неплавящимся электродом. При этом сохраняется защита зоны сварки от окружающего воздуха за счёт применяемого для защиты газа, поэтому необходимости очистки поверхности деталей, как это происходит при ручной дугой сварке, нет. Производительность сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения по сравнению со сваркой неплавящимся электродом выше приблизительно в 2…4 раза» [23]. «При построении технологии сварки с применением сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения приходится считаться с таким недостатками способа, как повышенное разбрызгивание, которое наиболее сильно начинает проявляться при применении высокопроизводительных режимов сварки» [23]. Разбрызгивание электродного металла существенно ограничивает скорость выполнения сварочных работ и ухудшает условия труда. Также следует принимать во внимание, что в конструкциях из аустенитной стали необходимо получение гладкой поверхности сварного шва, что затруднительно при сварке в защитных газах, поэтому приходится выполнять дополнительные операции по очистке поверхности детали от брызг расплавленного металла.

Сварка аустенитных сталей с применением проволоки сплошного сечения затрудняется по причине необходимости изготовления проволоки соответствующего состава. Изготовление порошковой проволоки, обеспечивающей при сварке требуемый состав сварного шва, экономически более целесообразно, чем изготовление цельнометаллической сварочной проволоки. На промышленных предприятиях многолетним производственным опытом доказаны широкие возможности применения сварки порошковой проволокой, которая сочетает в себе производительность и универсальность ручной дуговой сварки и сварки под флюсом, а также качество и хорошие условия труда сварщика при использовании сварки в защитных газах. Следует

указать недостатки применения порошковой проволоки, из-за которых этот перспективный способ сварки не получил должного распространения на производстве. Первым недостатком является «высокая сложность изготовления порошковой проволоки, которое достаточно сложно осваивается отечественными производителями сварочных материалов. Вторым недостатком является высокая пластичность проволоки, что приводит к её заломам при движении по подающему механизму. Третьим недостатком является высокая текучесть расплавленного шлака» [24]. Происходит засорение металла сварного шва. Кроме того, при плавлении проволоки часть шлака может не расплавляться и просыпаться в сварочную ванну, что вызовет образование пористости и шлаковых включений в сварном шве.

На основании критериев может быть выполнена экспертная оценка способов сварки и обоснование выбора оптимального способа сварки для построения проектной технологии [8], [22]. Анализ преимуществ и недостатков рассмотренных способов сварки позволяет для выполнения прихваток применить механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, а для выполнения продольных швов обечаек и кольцевых швов применить автоматическую сварку под флюсом. Для повышения качества сварки в защитных газах предлагается рассмотреть способы повышения эффективности сварки за счёт импульсного управления, что ранее было отмечено в ходе анализа научно-технической информации. Далее следует назначить оптимальные параметры режима сварки, выбрать необходимые сварочные материалы, составить перечень операций проектного технологического процесса и выбрать оборудование. Для каждой операции следует сформулировать требования к выполнению. Далее следует выполнить сравнительный экономический анализ базового варианта технологии сборки и варки и проектного варианта технологии сборки и сварки, не основании которого следует рассчитать экономические показатели производства и сделать вывод о целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений.

2.2 Назначение параметров режима сварки и выбор сварочных материалов

Параметрами режима автоматической сварки под флюсом являются диаметр сварочной проволоки, род и полярность тока. Для каждого слоя сварного шва назначают силу тока и напряжение на дуге, скорость подачи проволоки и скорость сварки. Также для проволоки задается вылет. Сварку предлагается вести с применением флюса АНФ-5 и сварочной проволоки Св-06Х19Н9Т диаметром 4 мм. В состав проволоки входит хром в количестве 18…20 %, никель в количестве 8…10 %, марганец в количестве 1…2 %, титан в количестве 0,5…1 %, кремний в количестве 0,4…1 %. Содержание углерода в проволоке ограничено 0,08 %.

Для сварки в защитном газе (операция прихватки) предлагается применить проволоку Св-06Х19Н9Т диаметром 1,2 мм и углекислый газ.

Параметры режима автоматической сварки под флюсом следующие. Ток сварки принимается равным 650…700 ампер, напряжение на дуге составляет 29…35 вольт, скорость подачи проволоки 2…2,4 метра в минуту. Скорость сварки 50…55 сантиметров в минуту.

Параметры режима сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения принимаются следующие. Ток сварки принимается равным 190…210 ампер, напряжение на дуге составляет 20…25 вольт, скорость подачи проволоки 2…2,4 метра в минуту. Скорость сварки 10…15 метров в час.

Перед выполнением сварки следует прокалить сварочный флюс, помещая его в разогретую до температуры 300…400 °С печь и выдерживая там в течение 1…1,5 часа. Использование флюса допускается не позднее 15 суток после прокалки, в противном случае следует провести повторную прокалку флюса. Количество прокалок флюса неограниченно.

2.3 Операции проектного технологического процесса сборки и сварки резервуара

«По сравнению с базовым технологическим процессом операции правки, разметки и резки не изменились и перешли в проектную технологию. Для сборки в проектной технологии, как и в базовой технологии применяется универсальное сборочное приспособление. Отличие операции сборки согласно проектной технологии от базовой заключается в том, что прихватки выполняются не с помощью ручной дуговой сварки (базовая технология), а с помощью механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения» [12]. Так как предлагается применить импульсное управление сварочной дугой, то в качестве источника питания предлагается применить стандартный сварочный выпрямитель УДГУ-315, представленный на рисунке 8-а, который дополнительно оснащается устройством формирования импульсов. Транзисторное управление, предложенное российскими исследователями-сварщиками [1], [3] позволяет задавать импульсный характер горения дуги с высокой частотой, отследить состояние капли электродного металла и задать оптимальные условия её перехода в сварочную ванну.

а)

б)

Рисунок 8 – Оборудование для простановки прихваток при сборке: сварочный выпрямитель УДГУ-315 (а) и механизм подачи проволоки ПДГ-312 (б)

На рисунке 9 представлена функциональная схема формирователя сварочных импульсов, который предлагается согласно [3]. Питание сварочной дуги предлагается осуществлять от стандартного сварочного выпрямителя с жесткой вольтамперной характеристикой. При сварке применяют ток обратной полярности. Положительный полюс источника питания, который «на функциональной схеме показан позицией 1, подключен к сварочной проволоке, которая на функциональной схеме показана позицией 5. Отрицательный полюс источника питания 1 подключен к изделию, которое обозначено на функциональной схеме позицией 2. Датчик тока, который обозначен на функциональной схеме позицией 3, выполнен на основе бесконтактного датчика Холла» [3].

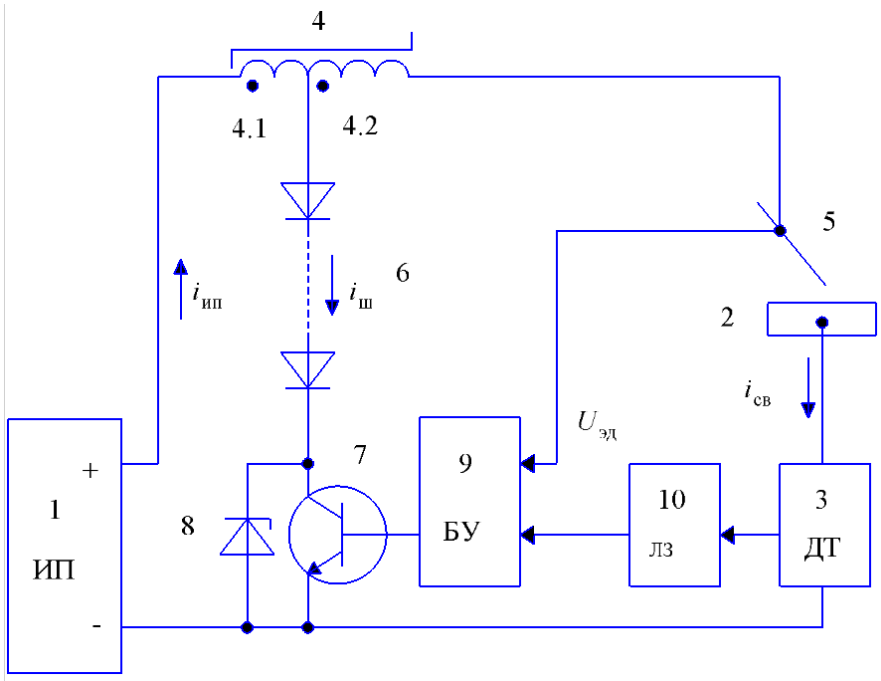

Рисунок 9 – Функциональная схема формирователя сварочных импульсов

«Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности с силой тока 190…210 А, напряжение на дуге 20…25 В, расход защитного газа 10…12 литров в минуту, скорость сварки 10…15 метров в час. При выполнении прихваток их следует равномерно располагать по длине шва с расстоянием 150…200 мм, прихватки должны иметь длину 10…12 мм. технологический эскиз для выполнения операции прихватки представлен на рисунке 10. После

выполнения прихваток проводят их визуальный контроль. Требования по качеству к прихваткам такие же, как и требования по качеству к сварному шву» [24]. Не допускаются трещины, непровары, подрезы, наплывы. В случае обнаружения недопустимого дефекта прихватку полностью срезают и переваривают.

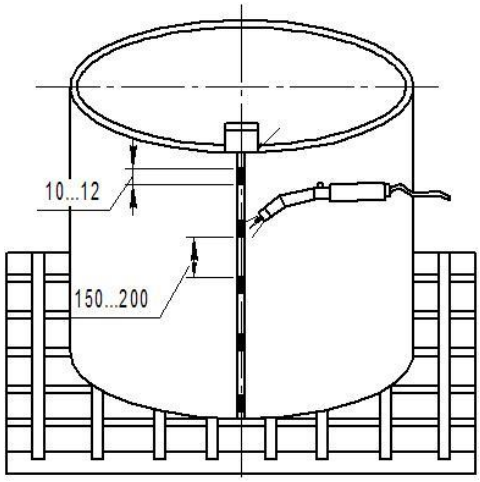

Рисунок 10 – Технологический эскиз для выполнения операции прихватки

Продольный стык обечаек выполняют с применением автоматической сварки под флюсом. Обечайку располагают таким образом, чтобы продольный шов находился вверху, что позволяет выполнять сварку шва в нижнем положении снаружи обечайки. Технологический эскиз для выполнения операции сварки продольного шва представлен на рисунке 11.

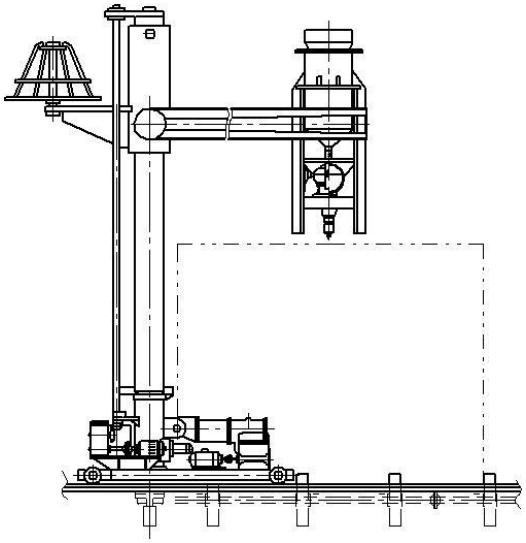

Рисунок 11 – Схема выполнения сварки продольного шва

Сварку предлагается вести с применением сварочного выпрямителя SubArc DC 1000/1200 Digital, который представлен на рисунке 12-а. Работа выпрямителя в составе сварочного комплекса при выполнении сварного шва обечаек представлена на рисунке 12-б. На рисунке 12-в представлена подвесная однопостовая головка для сварки MZ9.

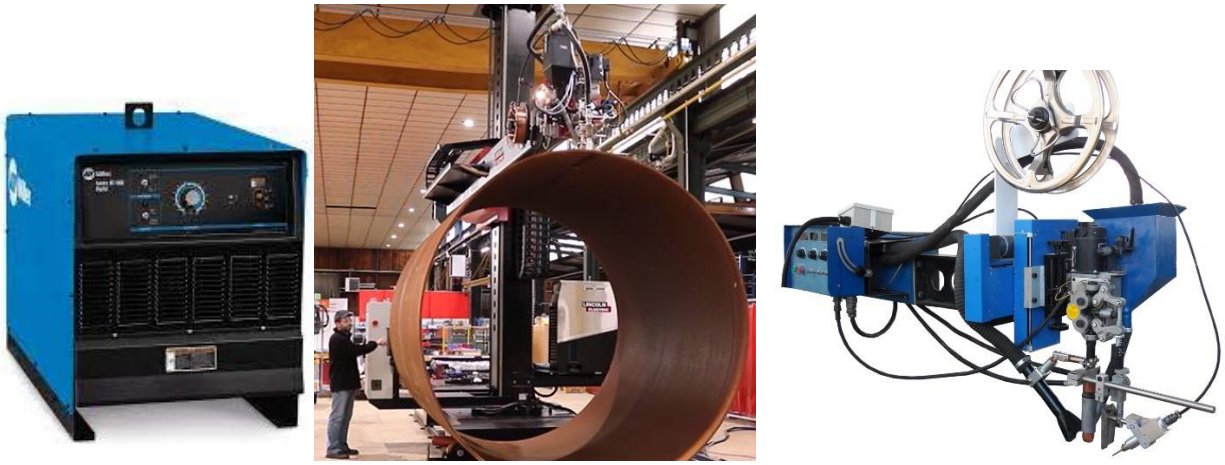

Рисунок 12 – Оборудование для автоматической сварки под флюсом: выпрямитель (а), сварочная установка в сборе (б), сварочная головка (в)

При автоматической сварке под флюсом сила тока составляет 650…700 А при диаметре проволоки 4 мм. Напряжение на дуге поддерживается равным 29…35 В. Скорость подачи проволоки составляет 2…2,4 метра в минуту. Скорость сварки составляет 0,5…0,55 метра в минуту. Процесс сварки прекращается после выхода дуги на технологическую планку. После выполнения сварного шва и потемнения шлака технологические планки срезают, а шлаковую корку удаляют, после чего выполняют визуальный контроль качества сварного шва.

Далее обечайки и днища перемещают на «участок сборки и сварки резервуара. При стыковке обечаек и днища на роликовом вращателе величина зазора не должна превышать 1 мм, а смещение кромок не должно превышать 0,5 мм. Сборку обечаек и днища выполняют с простановкой прихваток. Прихватки следует равномерно располагать по периметру стыка с расстоянием между прихватками 150…200 мм при длине каждой прихватки

10…12 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности с силой тока 190…210 А, напряжение на дуге 20…25 В, расход защитного газа 10…12 литров в минуту, скорость сварки 10…15 метров в час. После выполнения прихваток проводят их визуальный контроль. Требования по качеству к прихваткам такие же, как и требования по качеству к сварному шву. Не допускаются трещины, непровары, подрезы, наплывы. В случае обнаружения недопустимого дефекта прихватку полностью срезают и переваривают. При сборке следует обеспечить расстояние между соседними продольными стыками не менее 400 мм.

Далее выполняют кольцевые швы. При автоматической сварке под флюсом сила тока составляет 650…700 А при диаметре проволоки 4 мм. Напряжение на дуге поддерживается равным 29…35 В. Скорость подачи проволоки составляет 2…2,4 метра в минуту» [25]. Скорость сварки составляет 0,5…0,55 метра в минуту. Процесс сварки прекращается после выхода дуги на технологическую планку. После выполнения сварного шва и потемнения шлака технологические планки срезают, а шлаковую корку удаляют, после чего выполняют визуальный контроль качества сварного шва.

После выполнения сварки и остывания шлака «следует выполнить очистку поверхности деталей от шлака и брызг расплавленного металла. Далее проводят визуальный контроль качества. Невооруженным глазом и с применением комплекта для визуально-измерительного контроля. В ходе проведения визуального контроля не допускается грубая чешуйчатость сварного шва, наплывы и подрезы более 0,5 мм. Не допускаются трещины всех видов и направлений, выходящие на поверхность поры размером более 2 мм, занижение сварного шва» [25]. Если обнаружен недопустимый дефект, дефектное место вырубают и переваривают. Если в процессе контроля были обнаружены поры и шлаковые включения, их высверливают или вырубают, потом заваривают. Если обнаружен подрез глубиной не более 1 мм, его можно удалить зачисткой без сварки. Далее проводят проверку резервуара на герметичность.

Выводы по второму разделу

Во втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы описаны мероприятия по решению задач, которые были поставлены по результатам выполнения первого раздела. Поэтому второй раздел по отношению к первому разделу является исполнительским, а первый раздел является постановочным.

При «решении первой задачи проведена экспертная оценка способов сварки, которые могут быть применены для изготовления резервуара подземного исполнения из нержавеющей аустенитной стали. Рассмотрены такие способы, как ручная дуговая сварка, которая применяется по базовой технологии, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, применение которой предложено в проектной технологии для выполнения прихваток, автоматическая сварка под флюсом, применение которой предложено в проектной технологии для выполнения продольных и стыковых швов обечаек и днищ. Также в качестве альтернативных способов были рассмотрены аргонодуговая сварка неплавящимся электродом и сварка порошковой проволокой» [12], которые по результатам экспертной оценки в проектной технологии применены не были.

При решении второй задачи для расширения технологических возможностей сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения применена разработка российских исследователей-сварщиков в области импульсного управления сварочной дугой.

При решении третьей задачи составлена проектная технология сборки и сварки резервуара, дан перечень технологических операций, их описание, назначены параметры режима, выбрано технологическое оборудование и сформулированы требования к выполнению операций технологического процесса.

Дальнейшие работы направлены на экологическое и экономическое обоснование предлагаемых решений и будут выполнены в оценочной части выпускной квалификационной работы.

3 Безопасность труда и экологичность

3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложены технические решения по повышению эффективности сварки оболочковых конструкций из нержавеющих аустенитных сталей на примере горизонтального стального резервуара подземного исполнения. В аналитическом разделе выпускной квалификационной работы приведены особенности выполнения операция базового технологического процесса, сформулированы задачи. Второй раздел выпускной квалификационной работы содержит описание проектной технологии с применением предлагаемых технических решений. Выбрано технологическое оборудование, назначены параметры режима и требования к выполнению каждой операции. Очевидно, что предлагаемые технические решения будут обладать эффективностью, однако для обоснования их внедрения необходимо выполнение оценочных разделов. Настоящий экологический раздел относится к оценочным разделам. в котором предлагается выделить негативные производственные факторы, возникающие на рассматриваемом производственном участке, влияние этих факторов на окружающую среду и персонал предприятия. Далее следует составить перечень мер, позволяющих эффективно нейтрализовать идентифицированные антропогенные, опасные и вредные факторы. Помимо защиты от опасных и вредных производственных факторов следует рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности производства. В таблице 2 представлены особенности проектного технологического процесса, которые позволяют выявить производственные объекты и участников, которые могут подвергнуться действию негативных производственных факторов.

Таблица 2 – Особенности реализации проектного технологического процесса

Операция	Персонал	Оборудование
«Входной контроль	дефектоскопист	набор измерительного инструмента
Подготовительная	слесарь-сборщик	крокострогательный станок, гильотинные ножницы, установка плазменной резки, гибочные валки
Сборка с прихваткой	слесарь-сборщик, сварщик на автоматических машинах	универсальное сборочное приспособление, сварочный выпрямитель
Сварка	сварщик на автоматических машинах	роликовый стенд, набор оборудования для автоматической сварки под флюсом
Контроль качества» [24]	дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля и дефектоскопа

На основании представленных в таблице 2 данных возможно проведение идентификации возникающих в процессе реализации проектной технологии негативных производственных факторов.

3.2 Профессиональные риски

При осуществлении на рассматриваемом производственном участке операций проектного технологического процесса неминуемо происходит возникновение негативных производственных факторов. Эти факторы могут быть классифицированы как опасные факторы или вредные факторы. В результате действия на персонал опасного фактора происходит повышение вероятности получить травму и гибели человека. В результате действия на персонал вредного производственного фактора наблюдается ухудшение самочувствия и возникновение профессиональных заболеваний. При анализе вредных факторов необходимо учитывать, что действие нескольких негативных факторов может многократно усиливаться по сравнению с суммой каждого негативного фактора в отдельности. В таблице 3 представлена информация о возникающих негативных факторах.

Таблица 3 – Негативные производственные факторы проектной технологии

Операция	Негативный фактор	Источник фактора
Входной контроль	«наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования высокий уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне» [7]	«грая изделия, приспособление для сборки, аппаратура ультразвукового контроля» [24]
Подготовительная	«наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека» [7]	«щётка металлическая, края изделия, приспособление для сборки, механический инструмент» [24]
Сборка с прихваткой	«высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне» [7]	«приспособление для сборки, источник питания сварочной дуги, сварочная горелка, механизм подачи электродной проволоки» [24]
Сварка	«высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне» [7]	«приспособление для сборки, источник питания сварочной дуги, сварочная горелка, механизм подачи электродной проволоки» [24]
Контроль качества	«наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования высокий уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне» [7]	«края изделия, приспособление для сборки, аппаратура ультразвукового контроля» [24]

Источниками негативных производственных факторов выступает применяемое сварочное оборудование и непосредственно открыто горящая сварочная дуга. Также источником негативных факторов выступает вспомогательное оборудование, в ходе эксплуатации которого возможно

получение травм. Дальнейшие работы предусматривают поиск и оценку эффективности технических решений и организационных мероприятий, направленных на нейтрализацию негативных производственных факторов. Поиск средств защиты следует вести в области известных решений и арсенала современного предприятия. В случае, если стандартными методами безопасность труда обеспечиваться не будет, возникнет необходимость в разработке специальных решений для нейтрализации опасных и вредных производственных факторов.

3.3 Устранение профессиональных рисков

На основании анализа операций проектного технологического процесса выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, возникновение которых будет происходить на производственном участке. Для того, чтобы обеспечить эффективную нейтрализацию идентифицированных негативных производственных факторов, следует предложить решения, включающие в себя перечень технических средств и организационных мероприятий.

«На основании анализа нормативной документации могут быть предложены стандартные решения, которые позволяют устранить действие негативного производственного фактора или уменьшить его действие до разумного предела, регламентируемого документами по обеспечению охраны труда. Стандартные меры, реализация которых на современном предприятии позволяет обеспечить требуемый уровень промышленной безопасности, представлены» [7] в таблице 4 и направлены на обеспечение требуемого уровня промышленной безопасности, делают возможным снижение травматизма и профессиональных заболеваний. Особую значимость имеет соблюдение трудовой дисциплины и порядка на рабочем месте. Многолетняя производственная практика позволила заключить, что именно небрежное отношение к соблюдению чистоты и порядка на рабочем месте становится

главной причиной травматизма, возникновения внештатных ситуаций и снижения качества выпускаемой продукции.

Таблица 4 – Средства и мероприятия по обеспечению безопасности труда

«Негативный фактор	Техническое решение	Средства защиты
1. Наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок	Периодический инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования	Нанесение предостерегающих надписей, соответствующей окраски, установка ограждений	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
3. Высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов	Периодический инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека	Организация заземления электрических машин и периодического контроля изоляции.	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
5. Высокий уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне	Экранирование зоны сварки при помощи щитов	Спецодежда, маска сварщика
6. Высокий уровень инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварки при помощи щитов	Спецодежда, маска сварщика» [7]

Представленный перечень опасных и вредных производственных факторов является стандартным набором, сопровождающим реализацию технологических процессов на современном предприятии, нейтрализация которого не должна встретить значительных затруднений. Разработка специальных технических средств и методик для обеспечения безопасности труда не требуется.

3.4 Пожарная безопасность предприятия

Технологический процесс с применением сварочных операций существенно повышает опасность возникновения пожара на производственном участке. Источником опасности становится сварочная дуга

и устройства для термической обработки. Также следует принимать во внимание, что для питания технологического оборудования требуется подвод электрической энергии значительной мощности, нарушение в работе силовой аппаратуры предприятия также становится причиной возникновения пожаров. В таблице 5 представлена информация по идентификации пожара, возникновение которого возможно на рассматриваемом производственном участке при неблагоприятном стечении обстоятельств. Как видно из представленных данных, пожар следует отнести к классу «Е», поскольку при его возникновении на всем этапе протекания и тушения сохраняется высокая опасность поражения электрическим током. В случае пожара люди могут подвергнуться потоку раскаленного воздуха, испытать снижение концентрации кислорода, подвергнуться инфракрасному излучению, действию открытого пламени, отравляющему действию продуктов горения. Также при пожаре ухудшается видимость и возможно обрушение конструкций, что препятствует эвакуации персонала и тушению пожара. В ходе пожара может происходить нарушение электрической изоляции, что может стать причиной травм. В таблице 6 представлен предлагаемый набор средств, направленных на обеспечение пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка.

Таблица 5 – Идентификация опасных факторов при пожаре

Участок	Участок сборки и сварки резервуаров
«Наименование оборудования	Оборудование для подготовки, сборки и сварки, аппаратура контроля
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [7]

Таблица 6 – Средства тушения пожаров на производственном участке

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [7]

При обеспечении пожарной безопасности особое внимание следует обратить на соблюдение трудовой дисциплины. Это позволяет значительно снизить опасность возгорания. Помимо этого, с персоналом следует проводить тренинги и инструктаж, направленный на повышение ответственного отношения к трудовому процессу и отработке поведения в случае возникновения внештатных ситуаций. Грамотные действия персонала в начале возникновения пожара в значительной мере определяют последствия пожара и легкость его тушения.

3.5 Экологическая безопасность производственного участка

При «построении проектных технологических процессов на современном производстве приходится решать не только вопросы обеспечения безопасности труда и пожарной безопасности, но и защиты окружающей среды от негативных воздействий. Оборудование для сварки характеризуется негативным действием на природные составляющие, к которым относят гидросферу, литосферу и атмосферу» [7]. Происходит выброс значительного числа аэрозолей, твердых и жидких отходов, загрязняющих составляющие природы. Защита природы от антропогенного

действия со стороны рассматриваемого производственного участка обеспечивается рядом мероприятий, представленных в таблице 7.

Таблица 7 – Защита от антропогенных факторов

Наименование объекта	Производственный участок установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [7]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [7]
действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [7]

Особое внимание следует уделить селективному сбору мусора, которое не требует значительных капитальных вложений, но существенно снижает негативное действие на окружающую среду. Кроме того, селективный сбор мусора повышает культуру производства, и положительно сказывается на качестве работ и условиях труда персонала. Помимо этого возможно снижение затрат предприятия из-за возможности рециклинга промышленных отходов.

Выводы по экологическому разделу

Представленный экологический раздел содержит анализ технического объекта – участка для сборки и сварки резервуаров из нержавеющих аустенитных сталей. Эффективные средства, обеспечивающие нейтрализацию негативных факторов, предложены и проанализированы с точки зрения их эффективности при применении на рассматриваемом производственном участке. Показано, что предлагаемые меры являются стандартными для современного предприятия. Разработки специальных средств защиты персонала от опасных и вредных производственных факторов помимо предложенных в настоящем разделе стандартных решений не требуется.

4 Экономическая эффективность предлагаемых решений

4.1 Вводные данные для экономического анализа

В настоящей выпускной квалификационной работе описаны мероприятия, направленные на повышение эффективности базовой технологии сварки оболочковых конструкций из нержавеющих аустенитных сталей на примере резервуара горизонтального стального подземного. Предыдущие разделы выпускной квалификационной работы содержат анализ исходных данных и предварительный анализ известных решений, постановку задач на выполнение работ приведены в аналитическом разделе. На основании критического анализа известных решений обоснован выбор наиболее эффективного способа сварки. Также описываются решения, позволяющие расширить технологические возможности выбранного способа, приведено описание операций. Анализ возможности реализации предлагаемых решений с соблюдением современных требований по технике безопасности, проведения противопожарных мероприятий и обеспечения экологичности производственного участка выполнены в первом оценочном разделе выпускной квалификационной работы. Настоящий раздел также является оценочным и предназначен для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений на современном предприятии, для чего необходимо выполнить сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного вариантов технологии. Количественные показатели (исходные данные), которые будут использованы в ходе выполнения экономических расчётов, представлены в таблице 8. Значения коэффициентов, необходимых для расчётного определения показателей технологии, представлены в таблице 9. На основании представленных данных, показателей базовой п проектной технологии, предстоит оценить величину изменение экономических параметров и годовой экономический эффект [12].

Таблица 8 – Количественные показатели для экономического анализа

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение (базовый вариант)	Значение (проектный вариант)
«Стоимость оборудования	Цоб	руб.	250 тыс.	1200 тыс.
Мощность оборудования	Муст	кВт	25	40
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,7	0,85
Площадь под оборудование	S	$м^2$	150	150
Разряд работников	Рр	-	V	V
Часовая тарифная ставка	Сч	Р/час	150	150
Стоимость эксплуатации площадей	Сэксп	$(Р/м^2)$/год	2000	2000
Цена производственных площадей» [15]	Цпл	$Р/м^2$	30000	30000

Таблица 9 – Значения коэффициентов для проведения расчётов

Показатель	Обозн.	Единицы измерения	Значение
«Коэффициент доплат к основной заработной плате	$К_{осн}$	%	12
Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату	$К_{доп}$	-	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	Ксн	%	34
Коэффициент выполнения нормы	$К_{ВН}$	-	1,03
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Кт -з	%	5
Цена электрической энергии для предприятия	Цэ-э	Р/ кВт	4,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$К_{мон}$ $К_{дем}$	%	3 5
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5
Норма амортизации оборудования	$К_а$	%	21,5
Коэффициент эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	1,5
Коэффициент заводских расходов» [15]	Кзав	-	1,15

Основным отличием, определяющим эффективность проектной технологии по сравнению с базовым вариантом, является замена способа сварки с применением передовых достижений сварочной науки. Описываемые в исполнительском разделе решения обеспечивают повышение качества и производительности, что даже в условиях применения оборудования большей стоимости должно обеспечить получение экономического эффекта, доказательством чего послужат последующие расчёты.

4.2 Фонд времени работы оборудования

При расчётном определении основных параметров, при помощи которых может быть оценена экономическая эффективность производства, в большинстве формул применяется значение эффективного фонда времени работы оборудования $F_э$. Этот параметр измеряется в часах и пропорционален количеству смен $К_{см}$ в одном рабочем дне, которое в зависимости от особенностей производства может составлять $К_{см}=1$ или $К_{см}=2$. Также на величину $F_э$ оказывает влияние принимаемое количество рабочих дней в году $Д_р$, которое в настоящий момент принимается равным $Д_р=277$. При расчётном определении фонда времени работы оборудования «следует учитывать уменьшение продолжительности смены в предпраздничные дни, которое составляет $Т_п=1$ час для количества праздничных дней $Д_п=7$ дней. Стандартная продолжительность рабочей смены принимается равной $Т_{см}=8$ часов. С учётом представленных исходных данных рассчитывается номинальный фонд рабочего времени» [15] $F_н$

$$F_н = (Д_р \cdot Т_{см} - Д_п \cdot Т_п) \cdot К_{см} = (277 \cdot 8 – 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени $F_э$ отличается от номинального $F_н$ в меньшую сторону, что объясняется возникновением в процессе работы производственного участка внештатных ситуаций и случаев нарушения трудовой дисциплины. Это характеризуется коэффициентом потерь рабочего времени, который для рассматриваемой технологии составляет В = 7 %. С учётом этого

$$F_э = F_н(1-В/100) = 2209 \cdot (1 – 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Таким образом, расчёты проводим с величиной $F_э$ = 2054 часов. Эта же величина будет использована для расчётного определения экономических показателей при сопоставительном анализе рассматриваемых вариантов технологии.

4.3 Штучное время и годовая программа

Для расчётного определения экономических показателей, характеризующих анализируемый технологический процесс, следует задаться штучным временем $t_{шт}$, которое затрачивается ни изготовление или ремонт одного изделия. Для этого необходимы сведения по особенностям выполнения операций базовой технологии, которые были представлены в первом разделе выпускной квалификационной работы, и сведения по особенностям выполнения операций проектной технологии, которые были представлены во втором разделе. Главной составляющей штучного времени служит машинное время $t_{маш}$, значение которого определяется исходя из особенностей рассматриваемой технологии. Базовый вариант характеризуется $t_{маш}$=18 часов, проектный вариант характеризуется $t_{маш}$=7 часов. Также в состав штучного времени включено вспомогательное время $t_{всп}$ в размере 10 % от $t_{маш}$. В случае реализации базовой технологии $t_{всп}$=1,8 час, в случае реализации проектной технологии $t_{всп}$=0,7 часа. Приблизительно 5 % от $t_{маш}$ затрачивается на обслуживание рабочего места, что характеризуется переменной $t_{обсл}$. Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, принимается $t_{обсл}$=0,9 часа. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант технологии, следует принимать $t_{обсл}$=0,35 часа. Приблизительно 5 % от $t_{маш}$ затрачивается на личный отдых работника, что характеризуется переменной $t_{отд}$. Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, следует принимать $t_{отд}$=0,9 часа. При реализации на производственном участке проектного варианта принимают $t_{отд}$=0,35 часа. Приблизительно 1% от $t_{маш}$ затрачивается работником на изучение и сдачу производственного задания, что характеризуется значением подготовительно-заключительного времени $t_{пз}$. В зависимости от реализуемого на производственном участке варианта технологии $t_{пз}$=0,18 часа для базового варианта и $t_{пз}$=0,07 часа для проектного варианта.

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

На основании исходных данных последующие расчёты проводим при $t_{шт}$=13,5 часа при базовом варианте. При проектном варианте последующие расчёты выполняем исходя из значения штучного времени $t_{шт}$=12,25 часа.

Годовая программа $П_г$ определяет количество изделий, которое предстоит выпустить в течение одного календарного года и определяет значения коэффициентов загрузки оборудования, который в дальнейшем будут использованы для расчётного определения экономических показателей базового и проектного вариантов. Величина годовой программы $П_г$ может быть вычислена исходя из ранее определенного фонда времени работы оборудования $F_э$ и штучного времени $t_{шт}$

$$П_г = F_э / t_{шт}. \quad (4)$$

Таким образом, может быть выполнено расчётное определение годовой программы $П_г$, которая для базового варианта составляет $П_{г.}$=2054/31,5=65 изделий. Годовая программа при реализации проектного варианта составляет $П_г$=2054/12,25 = 167 изделия. Для обеспечения действительной потребности производства необходимо значение годовой программы $П_г$=40 изделий, которое и принимаем для обоих вариантов технологического процесса.

Для задания количества применяемых на производственном участке единиц технологического оборудования необходимо определить его расчётное значение $n_{расч}$, для чего в качестве исходных данных служат ранее полученные значения годовой программы $П_г$, эффективного фонда времени $F_э$ и штучного времени $t_{шт}$. Также в расчётах применяется коэффициент выполнения нормы $К_{вн}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot П_г / (F_э \cdot К_{вн}). \quad (5$$

Для базового варианта $n_{расч.} = 31,5 \cdot 40/(2054 \cdot 1,03) = 0,6$. Для проектного варианта $n_{расч.} = 12,25 \cdot 40/(2054 \cdot 1,03) = 0,2$. Таким образом, для обоих рассматриваемых вариантов принимается количество оборудования n=1, поэтому определим коэффициент загрузки

$$К_э = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При реализации базового варианта технологического процесса коэффициент загрузки оборудования составляет $К_з$=0,6/1=0,6. При реализации проектного варианта коэффициент загрузки оборудования составляет $К_з$=0,2/1=0,2.

4.4 Расчёт заводской себестоимости

Эффективность внедряемых в производство решений оценивается по изменению экономических показателей, в большинство из которых в качестве расчётного компонента входит заводская себестоимость $С_{зав}$, определяемая расчётным путем через технологическую себестоимость $С_{тех}$. Величина технологической себестоимости может быть рассчитана с учётом особенностей выполнения операций, входящих в рассматриваемые варианты технологического процесса.

Одной из составляющих технологической себестоимости является стоимость материалов М, для расчёта которой применяется упрощенная формула, учитывающая цену материала $Ц_м$, нормы расхода материалов $Н_р$. Также для расчётов используется коэффициент транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

$$М = Ц_м \cdot Н_р \cdot К_{т-з} . \quad (7)$$

Для принятых в настоящей работе исходных данных реализация базового технологического процесса предусматривает затраты на материалы в размере М = 976 + 8611 = 9587 рублей. В проектном технологическом

процессе рассчитываемые затраты на материалы составляют $М_.$= 958 + 1240 + 1642 = 3840 рублей.

Далее следует выполнить расчёт фонда заработной платы ФЗП, который определяется исходя из размеров основной заработной платы $З_{осн}$, которая в свою очередь зависит от тарифной ставки $С_ч$, штучного времени $t_{шт}$. Также для расчётов необходим коэффициент доплат $К_д$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot С_ч \cdot К_д. \quad (8)$$

Базовый технологический процесс предусматривает размер основной заработной платы $З_{осн}$= 31,5·150·1,88 = 8883 рублей. Реализация проектного процесса предусматривает размер основной заработной платы составит $З_{осн}$=12,25·150·1,88 = 3455 рублей.

Далее необходимо задаться размером дополнительной заработной платы $З_{доп}$. Для расчётов понадобится значение основной заработной платы $З_{осн}$. Также для расчётов необходим коэффициент дополнительных доплат $К_{доп}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot К_{доп}. \quad (9)$$

Размер коэффициента дополнительных доплат принимается из таблицы исходных данных $К_{длп}$=0,12. Так как базовый вариант технологии предполагает основную заработную плату $З_{осн}$= 8883 рублей, то размер дополнительной заработной платы с учётом исходных данных $З_{доп}$= 8883·12/100 = 1066 рублей. Так как проектный вариант предполагает основную заработную плату $З_{осн}$=3455 рублей, то размер дополнительной заработной платы с учётом исходных данных $З_{доп}$ = 3455·12/100 = 415 рублей.

Для оценки размеров фонда заработной платы выполняется суммирование основной и дополнительной заработных плат. Таким образом, для базового варианта ФЗП = 8883 + 1066 = 9949 рублей, для проектного варианта ФЗП = 3455 + 415 = 3870 рублей.

Отчисления на социальные нужны $О_{сс}$ определяются исходя из значения фонда заработной платы ФЗП и принимаемого из таблицы исходных данных значения коэффициента отчислений $К_{сн}$

$$О_{сн} = ФЗП \cdot К_{сн}. \quad (10)$$

Вычисления с использованием исходных данных для базовой технологии позволяют получить отчисления на социальные нужды $О_{сн}$= 9949·34/100 = 3383 рублей. Расчёты с использованием исходных данных для проектной технологии позволяют получить отчисления на социальные нужды $О_{сн}$= 3870·34/100 = 1316 рублей.

Ещё одной составляющей технологической себестоимости является затраты на оборудование $З_{об}$. Размер этой статьи расходов определяется как сумма амортизационных отчислений $А_{об}$ и расходов на электрическую энергию $Р_{ээ}$.

Для того, чтобы вычислить величину амортизационных отчислений $А_{об}$ понадобится значение стоимости оборудования $Ц_{об}$ из таблицы исходных данных. При реализации на производственном участке базового варианта $Ц_{об}$=250000 рублей. При реализации на производственном участке проектного варианта $Ц_{об}$=1200000 рублей. Также в качестве исходных данных служит машинное время $t_{маш}$, которое для базового и проектного варианта принимается соответственно как $t_{маш}$=31,5 часа и $t_{маш}$=12,25 часа. Для обоих вариантов технологии принимается ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени работы оборудования $F_э$=2054 часа. Значение нормы амортизации $Н_а$ принимается из таблицы исходных данных $Н_а$=21,5 %Таким образом, амортизационные отчисления рассчитываются как

$$А_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot Н_а \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

и при реализации базового технологического процесса составляют с учётом исходных данных $А_{об}$ = 250000 · 21,5 · 31,5 / 2054 / 100 = 824 рублей, при

реализации проектного технологического процесса с учётом исходных данных амортизационные отчисления $А_{об}$=1200000 · 21,5 · 12,25/2054/100=5129 рублей.

Ещё одной статьей расходов, учитываемой при определении технологической и заводской себестоимости, является расходы на электрическую энергию $Р_{ээ}$. Для расчётного определения понадобится цена на электрической энергии $Ц_{эл}$, которая из таблицы исходных данных принимается $Ц_{эл}$=3,2 руб/кВт·ч. Установленное на производственном участке оборудование имеет КПД=0,7 для базового варианта технологии 0,85 для проектного варианта технологии. Установленная мощность оборудования при реализации базового варианта технологического процесса составляет $М_{уст}$=25 кВт, установленная мощность оборудования при реализации проектного процесса составляет $М_{уст}$=40 кВт. Таким образом, при использовании формулы

$$Р_{ээ} = М_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ}/КПД. \quad (12)$$

для базового варианта технологического процесса получаем стоимость электрической энергии $Р_{ээ}$ = 31,5 · 25 · 3,2 / 0,7 = 3600 рубля. При реализации проектного процесса расходы на электрическую энергию следует ожидать в размере $Р_{ээ}$ = 12,25 · 40 · 3,2 / 0,85 = 1844 рубля. Как видно из представленных расчётов, при реализации проектной технологии ожидается повышение расходов на электрическую энергию, это может быть объяснено тем, что при реализации проектной технологии используется более мощное оборудование, нежели при реализации базовой технологии.

С учетом рассчитанных значений определяем затраты на оборудование $З_{об}$ при реализации рассматриваемых вариантов построения технологии

$$З_{об} = А_{об} + Р_{ээ}. \quad (13)$$

который при реализации базового технологического процесса принимаем значение $З_{об.}$= 824 + 3600 = 3424 рубля и при реализации проектного

технологического процесса принимает значение $З_{об.}$= 5129 + 1844 = 6973 рубля. Повышение затрат на оборудование при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом объясняется применением более прогрессивного сварочного оборудования. Получение экономического эффекта ожидается за счёт других статей расходов и составляющих технологической себестоимости.

На основании рассчитанных величин составляющих технологической себестоимости может быть определена сама технологическая себестоимость суммированием

$$С_{тех} = М + ФЗП + Осс + З_{ОБ}. \quad (14)$$

Реализация базовой технологии характеризуется $С_{тех}$= 9587 + 9949 + 1754 + 3424 = 24714 рубля. Реализация проектной технологии характеризуется технологической себестоимостью $С_{тех}$=3840 + 3870 + 1316 + 6973 = 15999 рубля.

Для наглядного представления состава технологической себестоимости построены сравнительные диаграммы, представленные на рисунке 13.

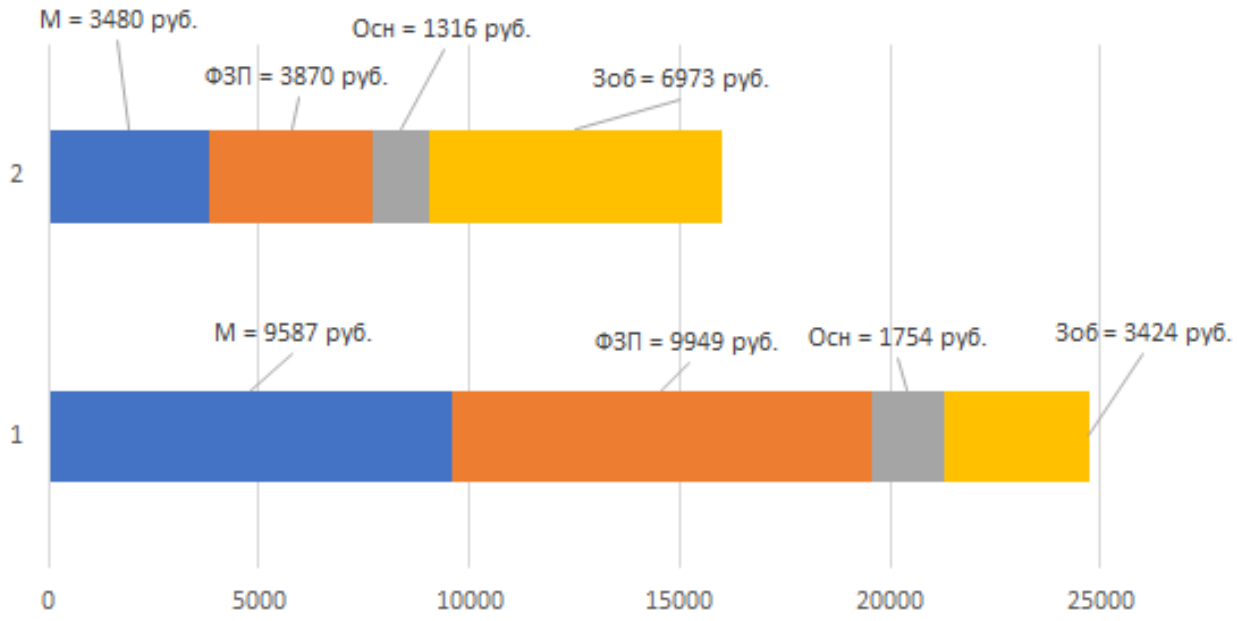

Рисунок 13 – Структура технологической себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологии

Структурные составляющие технологической себестоимости, расчёт которых выполнен ранее, представлены таким образом, что позволяют выполнить визуальное сравнение их величин по «рассматриваемым вариантам построения технологического процесса. Следует ожидать значительного уменьшения фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды, что должно положительно сказаться на экономических показателях производства при внедрении предлагаемых технологических решений.

Размер цеховой себестоимости $С_{цех}$ вычисляется исходя из ранее определенного значения технологической себестоимости $С_{тех}$ с учётом цеховых расходов, величина которых, в свою очередь, рассчитывается как произведение основной заработной платы $З_{осн}$ и коэффициента цеховых расходов $К_{цех}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных» [15]

$$С_{цех} = С_{тех} + З_{осн} \cdot К_{цех}. \quad (15)$$

«В случае, если на производственном участке реализуется базовый вариант, $С_{цех}$=24714 + 1,5·8883 = 24714 + 13324 = 38038 рубля. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант, размер цеховой себестоимости составит $С_{цех}$=15999 + 1,5·3455 = 15999 + 5183 = 21182 рубля.

Размер заводской себестоимости $С_{зав}$ вычисляется исходя из ранее определенного значения цеховой себестоимости $С_{цех}$ с учётом заводских расходов, величина которых, в свою очередь, рассчитывается как произведение основной заработной платы $З_{осн}$ и коэффициента заводских расходов $К_{зав}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных» [15]

$$С_{зав} = С_{цех} + З_{осн} \cdot К_{зав}. \quad (16)$$

При реализации базового варианта технологического процесса размер заводской себестоимости составит $С_{зав}$=38038 + 1,15·8883 = 38038 + 10215 = 48253 рубля. В случае реализации на производственном участке проектного процесса размер цеховой себестоимости составит $С_{цех}$=21182 + 1,15·3455 = 21182 + 3973 = 25155 рубля. Сравнительная оценка рассматриваемых

вариантов технологии может быть выполнена с использованием сведенных в таблицу 10 данных по составляющим заводской себестоимости. Графическое представление состава заводской себестоимости по рассматриваемым вариантам, представленное на рисунке 14, позволяет выполнить сравнительный анализ каждой статьи расходов.

Таблица 10 – Расчёт заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	9587	3840
2. Фонд заработной платы	ФЗП	9949	3870
3. Отчисления на соц. нужды	$О_{СН}$	1754	1316
4. Затраты на оборудование	$З_{об}$	3424	6973
5. Технологическая себестоимость	$С_{тех}$	24714	15999
6. Цеховые расходы	$Р_{цех}$	13324	5183
7. Цеховая себестоимость	$С_{цех}$	38038	21182
8. Заводские расходы	$Р_{зав}$	10215	3973
9. Заводская себестоимость» [15]	$С_{зав}$	48253	25155

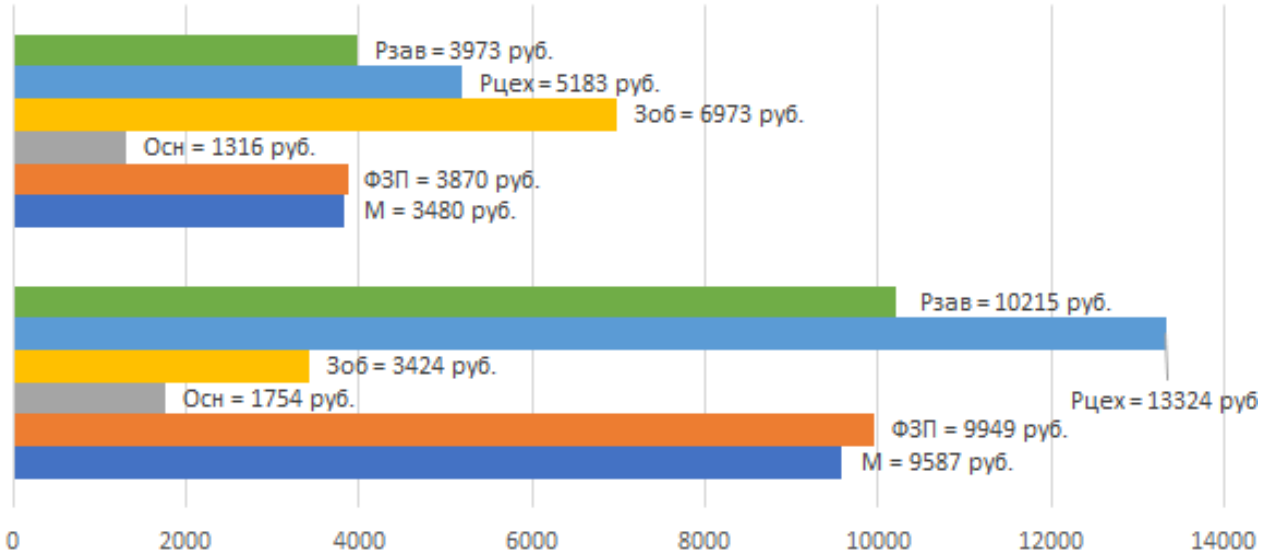

Рисунок 14 – Сравнительная диаграмма составляющих заводской себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологического процесса

Как видно из представленных данных, реализация проектной технологии позволяет уменьшить такие составляющие технологической

себестоимости, как затраты на материалы, фонд заработной платы, отчисление на социальные нужды. Значение заводской себестоимости снижается также за счёт уменьшения основной заработной платы.

Как показывает численный и графический анализ, при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом наблюдается уменьшение технологической и заводской себестоимости, что позволяет предполагать получение положительного экономического эффекта при внедрении в производство предлагаемых решений. показатели экономической эффективности будут рассчитаны далее с учетом капитальных вложений.

4.5 Капитальные затраты

При внедрении результатов выпускной квалификационной работы потребуется замена технологического оборудования, которое ранее эксплуатировалось на предприятии в течение срока службы $Т_{сл}$=3 лет. Цена оборудования по базовому варианту составляет $Ц_{перв}$=250000 рублей. С учётом нормы амортизации $Н_а$ стоимость оборудования по базовому варинату может быть вычислена как

$$Ц_{об.б.} = Ц_{перв.} – (Ц_{перв} \cdot Т_{сл} \cdot Н_а/100). \quad (17)$$

«Таким образом, остаточная стоимость оборудования, которое ранее применялось на предприятии для реализации базового технологического процесса, составляет» [15] $Ц_{об.б.}$= 250000 – (250000 ·2·21,5/100) = 142500 рублей.

Ранее для рассматриваемых вариантов технологии был выполнен расчёт коэффициента загрузки оборудования $К_з$, который позволяет оценить капитальные затраты по базовому варианту

$$К_{общ.\ б.} = Ц_{об.б} \cdot К_{з.б} = 1 \cdot 142500 \cdot 0{,}6 = 85500 \text{ рублей}. \quad (18)$$

В случае, если на производственном участке реализуется проектная технология, капитальные затраты на оборудование $К_{об.пр}$ вычисляются с использованием ранее определенного коэффициента загрузки оборудования $К_з$=0.4, принятого из таблицы исходных данных коэффициента транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$=1,05 и цены оборудования $Ц_{об.пр.}$= 1200000 рублей:

$$К_{об.пр.} = Ц_{об.\,пр.} \cdot К_{тз} \cdot К_{зп}. \quad (19)$$

Получаем $К_{об.пр}$ = 1200000·1,05·0,2 = 252000 рублей.

При вычислении расходов $Р_{дем}$ на демонтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации базовой технологии, необходимо учесть цену оборудования $Ц_{об.б}$ и коэффициента расходов на демонтаж $К_{дем}$, его принимаем из таблицы исходных данных

$$Р_{дем} = Ц_{об.\,б.} \cdot К_д = 250000 \cdot 0{,}05 = 12500 \text{ рублей}. \quad (20)$$

При вычислении расходов $Р_{мон}$ на монтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации проектной технологии, необходимо учесть цену оборудования $Ц_{об.пр}$ и коэффициента расходов на монтаж $К_м$, его принимаем из таблицы исходных данных

$$Р_{монт} = Ц_{об.\,пр.} \cdot К_м = 1200000 \cdot 0{,}05 = 60000 \text{ рублей}. \quad (21)$$

С учётом полученных результатов расчета сопутствующие капитальные затраты $К_{соп}$ составляют

$$К_{соп} = Р_{дем} + Р_{монт} = 12500 + 60000 = 72500. \quad (22)$$

Капитальные затраты $К_{общ.пр.}$ при организации производственного участка для выполнения проектной технологии могут быть рассчитаны как сумма капитальных затрат на оборудование $К_{об.пр}$ и сопутствующих затрат $К_{соп}$

$$К_{общ.\,пр.} = К_{об.\,пр.} + К_{соп.} = 252000 + 72500 = 324500 \text{ рублей} \quad (23)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $К_{доп}$ определяется как разность ранее рассчитанных капитальных затрат по рассматриваемым вариантам

$$К_{доп} = К_{общпр} – К_{общб} = 324500 – 85500 = 239000 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Исходными данными для расчёта удельных капитальных вложений $К_{уд}$ служат дополнительные капитальные затраты $К_{доп}$ и годовая программа $П_г$, а самое значение $К_{уд}$ определяется как отношение этих величин

$$К_{уд} = К_{общ} / П_г . \quad (25)$$

Если на производственном участке реализуется базовая технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $К_{уд}$=85500/40 = 2138 рублей. Если на производственном участке реализуется проектная технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $К_{уд}$ = 324500/40 = 8113 рублей.

4.6 Экономические показатели эффективности

Для того, чтобы оценить эффективность предлагаемых решений, реализацию которых предлагается выполнить на рассматриваемом производственном участке, следует рассчитать такие показатели, как «снижение трудоёмкости $\Delta t_{шт}$, повышение производительности труда $П_т$, снижение технологической себестоимости $\Delta С_{тех}$, условно годовую экономию $Э_{уг}$, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $Т_{ок}$ и годовой экономический эффект $Э_г$» [15].

При определении снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$ в качестве исходных данных следует принять ранее определенные значения штучного времени $t_{шт}$ в базовом и проектном вариантах. На основании проведенных ранее расчётов в качестве исходных данных принимается $t_{шт\ б}$=31,5 часа и $t_{шт\ пр}$=12,25 часа для

реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100\ \% / t_{шт\ б} = (31{,}5 - 12{,}25) \cdot 100\ \% / 31{,}5 = 61\ \%. \quad (26)$$

При определении повышения производительности труда $П_т$, которое достигается на рассматриваемом производственном участке в случае внедрения предлагаемых решений используется рассчитанное ранее значение снижения трудоемкости $\Delta t_{шт}$

$$П_т = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 61 / (100 - 61) = 156\ \%. \quad (27)$$

Для оценки снижения технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ необходимо в качестве исходных данных использовать рассчитанные ранее технологические себестоимости для случая реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии. В случае выполнения операция согласно базового варианта технологии принимается $C_{тех.б}$=12823 рубля. В случае выполнения операций согласно проектного варианта технологии принимается $C_{тех.пр}$=10142 рубля

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (24714 - 15999) \cdot 100\% / 24714 = 35\ \% \quad (28)$$

Для оценки размеров условно-годовой экономии $Э_{уг}$ следует в качестве исходных данных принять ранее определенную годовую программу $П_г$=40. Условно-годовая экономия получается из разности заводских себестоимостей по рассматриваемым вариантам. В случае реализации на производственном участке базовой технологии принимается $C_{зав.б}$=48253 рубля. В случае реализации на производственном участке проектной технологии принимается $C_{зав.пр}$=25155 рубля

$$Э_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot П_г = (48253 - 25155) \cdot 40 = 923920 \text{ рублей}. \quad (29)$$

Для расчётного определения срока окупаемости $Т_{ок}$ дополнительных капитальных вложений в качестве исходных данных следует принять ранее

рассчитанные условно-годовую экономию $Э_{уг}$ и дополнительные капитальные вложения $К_{доп}$

$$Т_{ок} = К_{доп} / Э_{уг} = 239000 / 923920 = 0,3 \text{ года.} \quad (30)$$

В случае реализации на рассматриваемом производственном участке технологического процесса с внесенными изменениями совокупная экономическая эффективность оценивается по годовому экономическому эффекту $Э_г$. Для расчётного определения этой величины необходимо в качестве исходных данных принять ранее рассчитанную условно-годовую экономию $Э_{уг}$ и ранее рассчитанную величину дополнительных капитальных вложений $К_{доп}$. Из таблицы исходных данных принимается значение нормативного коэффициента окупаемости затрат $Е_н$

$$Э_г = Э_{уг} – Е_н \cdot К_{доп} = 923920 – 0,33 \cdot 239000 = 845050 \text{ рубля.} \quad (31)$$

На основании проведенных расчётов следует констатировать, что внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений позволяет получить повышение всех рассматриваемых в разделе экономических показателей, что положительно характеризует ценность предложенных решений.

Так как при реализации проектной технологии наблюдается значительное повышение производительности, то рассматриваемый производственный участок и находящееся на нем оборудование может быть использовано для выполнения аналогичных работ, что, в конечном итоге, позволит ещё больше повысить экономические показатели производства и сохранить размер фонда заработной платы без увеличения нагрузки на работников предприятия.

Выводы по экономическому разделу

Таким образом, для представленных в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений выполнено обоснование

эффективности внедрения в современное производство. За счёт применения более прогрессивных методов ожидается снижение трудоёмкости на величину $\Delta t_{шт}$ = 61 % и повышение производительности труда на величину $П_т$ = 156 %. Повышение производительности труда позволяет в значительной степени уменьшить такую составляющую технологической и заводской себестоимости, как фонд заработной платы. Кроме того, повышение производительности труда позволяет уменьшить значение коэффициента загрузки оборудования, что положительно сказывается на амортизационных отчислениях. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет $\Delta C_{тех}$ = 35 %. Снижение технологической себестоимости наблюдается несмотря на то, что проектный технологический процесс предусматривает применение более сложного и дорогостоящего оборудования. Так как наблюдается уменьшение технологической себестоимости и повышение производительности труда, происходит уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости. В результате этого возникает условно-годовая экономия в размере $Э_{уг}$=923,9 тысяч рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений в размере $К_{доп}$ = 239 тысяч рублей, срок окупаемости которых составляет 0,3 года. При реализации предлагаемых изменений на рассматриваемом производственном участке годовой экономический эффект $Э_г$ = 845 тысяч рублей. Вышеизложенное позволяет судить о целесообразности внедрения на современных предприятиях Российской Федерации предлагаемых решений, так как возникает не только технологический, но и экономический эффект. При реализации проекта в рамках отрасли ожидается получение мультипликативного эффекта.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении оболочковых конструкций из нержавеющей аустенитной стали. В качестве типового изделия принят стальной горизонтальный резервуар подземного исполнения. Анализ базовой технологии, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки специальными электродами, позволил сформулировать недостатки, устранение которых обеспечивает достижение поставленной во введении цели. В ходе анализа исходных данных и известных решений удалось выполнить постановку задач.

В ходе решения первой задачи на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки обоснован выбор механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, применение которой при построении проектной технологии обеспечит повышение эффективности предприятия. Полученный результат может быть перенесен на большинство предприятий, продолжающих при изготовлении сварных конструкций из листового алюминия использовать ручную дуговую сварку.

При решении первой задачи проведена экспертная оценка способов сварки, которые могут быть применены для изготовления резервуара подземного исполнения из нержавеющей аустенитной стали. Рассмотрены такие способы, как ручная дуговая сварка, которая применяется по базовой технологии, механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, применение которой предложено в проектной технологии для выполнения прихваток, автоматическая сварка под флюсом, применение которой предложено в проектной технологии для выполнения продольных и стыковых швов обечаек и днищ. Также в качестве альтернативных способов были рассмотрены аргонодуговая сварка неплавящимся электродом и сварка порошковой проволокой, которые по результатам экспертной оценки в проектной технологии применены не были.

При решении второй задачи для расширения технологических возможностей сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения применена разработка российских исследователей-сварщиков в области импульсного управления сварочной дугой.

При решении третьей задачи составлена проектная технология сборки и сварки резервуара, дан перечень технологических операций, их описание, назначены параметры режима, выбрано технологическое оборудование и сформулированы требования к выполнению операций технологического процесса.

При выполнении экологического раздела получены сведения, позволяющие заключить, что предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми в разделе мероприятиями.

При выполнении экономического раздела проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Применение на производственном участке предлагаемых решений позволяет повысить производительность труда на 156 % и снизить трудоемкость на 61 % Так как проектный вариант обеспечивает уменьшение ряда составляющих технологической себестоимости, она уменьшается на 35 %. Проведенные расчёты показали, что в случае, если на рассматриваемом производственном участке будут реализована проектная технология, годовой экономический эффект составит 854 тысяч рублей.

На основании вышеизложенного предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе решения могут быть рекомендованы для внедрения на современных предприятиях Российской Федерации, которые выполняют сборку и сварку резервуарного парка из нержавеющих сталей. При реализации проекта в рамках отрасли ожидается получение мультипликативного эффекта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. А. с. 1682076 СССР, МКИ В23К9/09. Источник тока для импульсной сварки / Павшук В. М., Шейко П. П. Заявл. 31.05.89; опубл. 07.10.91, Бюл. № 37, 6 с.

2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.

3. Верёвкин А.А. Повышение эффективности сварки в CO_2 неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул : Томский политехнический университет. 2010.

4. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.

5. Волченко В. Н. Контроль качества сварных соединений. М : Машиностроение. 1986. 172 с.

6. Гаврилов С. Н. Разработка самозащитной порошковой проволоки для сварки аустенитных хромоникелевых сталей в монтажных условиях: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет. 2007.

7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

8. Голов Р.С., Сорокин А.Е., Мельник А.В., Рожков И.В. Основные технологические и маркетинговые тенденции развития сварочного производства // Сварочное производство. 2016. № 11. С. 46–51.

9. Гурвич Л.Я., Лащевский В.Б. Сопротивление коррозионному растрескиванию высокопрочных нержавеющих сталей и их сварных соединений // Защита металлов. 1993. Т. 29, № 5.

10. Жилин П. Л., Конищев Б. П., Латаев П. А. Оптимизация скорости аргонодуговой сварки цилиндрических деталей из нержавеющей стади 12Х18Н10Т // Труды Нижегородского государственного технологического университета им. Р. Е. Алексеева. 2023. № 4. С. 183-188.

11. Ильященко Д. П. Исследование химического состава и микроструктуры сварных соединений из стали 12Х18Н10Т, выполненных по различным технологическим схемам // Современные наукоемкие технологии. 2015. № 2. С. 73-76

12. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.

13. Кныш В. В., Соловей С. А., Кузьменко А. З. Кинетика роста несквозных усталостных трещин в сталях 03Х20Н16АГ6 и 12Х18Н10Т при различных значениях коэффициента асимметрии цикла напряжений // Автоматическая сварка. 2007. № 12. С. 21–25.

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

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

16. Кулик В. М., Осадчук С. А., Ныркова Л. Н. Продление ресурса эксплуатации сварных резервуаров из нержавеющей стали путем повышения питтингостойкости // Автоматическая сварка. 2016. № 3. С. 44–48.

17. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.

18. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющих сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.

19. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

20. Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В., Петрук В.С. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.

21. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.

22. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 20014. № 40. С. 14-21.

23. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

24. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. Ред. Н. П. Алёшина, Г. Г. Чернышова – М.: Машиностроение, 2004. Т.2 / Н. П. Алёшин [и др.] – 480 с.

25. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.

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