

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 Технология возведения резервуаров для авиационного топлива

Обучающийся

И.А. Тарабутин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

ст. преподаватель Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.т.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Требования по мобильности и возникающие трудности различного характера, способные помешать доставке крупногабаритных грузов, заставляют применять сборку и сварку резервуаров из отдельных листов. Технология полистовой сборки и сварки вертикальных резервуаров хорошо отработана и может быть осуществлена различными строительными организациями.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества операции сварки при возведении резервуара для авиационного топлива.

При выполнении базовой технологии сварки предусматривается использование ручной дуговой сварки, которая характеризуется рядом недостатков. Для повышения эффективности работ при возведении резервуара предложено способ сварки заменить на более производительный. Также выполнен анализ методик возведения резервуаров, на основании которого обоснован выбор полистового метода. Повышение эффективности сварочных работ достигнуто при устранении недостатков базовой технологии.

Проведенный литературный обзор позволил построение проектной технологии возведения резервуара выполнять на базе автоматической сварки под флюсом и механизированной сварки в защитных газах. Была составлена проектная технология, назначены параметры режима и оборудование.

В оценочных разделах идентифицированы опасные и вредные производственные факторы производства, предложены мера защиты от них. На основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет около двух миллионов рублей.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние вопроса сварки резервуаров для авиационного топлива.	7
1.1 Сведения о конструкции резервуара и условиях эксплуатации. .	7
1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара.	10
1.3 Операции базового технологического процесса.	12
1.4 Обоснование метода возведения резервуара.	16
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. ...	20
2 Проектная технология возведения резервуара.	21
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	21
2.2 Общие требования к выполнению сварочных операций.	28
2.3 Описание сварочного оборудования.	29
2.4 Описание операция технологического процесса.	31
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. ...	36
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. ...	36
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	38
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков.	39
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	40
3.5 Экологическая безопасность.	42
4 Экономическое обоснование проектных решений.	44
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования.	44
4.2 Фонд времени оборудования.	46
4.3 Штучное время и годовая программа.	47
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии.	49
4.5 Расчёт капитальных затрат.	54
4.6 Расчёт экономических показателей.	56

Заключение	58
Список используемой литературы и используемых источников.....	59

Введение

В настоящее время наблюдается рост влияния беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на ведение действий различного назначения. Все большую популярность такие комплексы приобретают в сфере обеспечения безопасности и в военной сфере [25]. С Российской стороны имеется положительный опыт применения таких разработок, как «Орлан-10», «Элерон-3», «Застава», «Ланцет» и «Шахед-136» [15], [30]. Увеличение объёмов применения летательных аппаратов заставляет задумываться об оперативном обеспечении их авиационными топливами [23], [27]. Ускоренная модернизация и дооборудование аэродромов, а также необходимость перемещения значительной части складов вглубь российской территории по причине необходимости выноса их из опасной зоны делают необходимым ускоренное возведение резервуаров для хранения авиационного топлива. При возведении такой ответственной конструкции, как резервуар для хранения топлива, следует принимать во внимание, что ошибки, допущенные в ходе проектирования и строительства, могут стать причиной экологических катастроф и человеческих жертв. Кроме того, аварии резервуарного парка, сопровождающиеся локальным задымлением, хлопками и повышением температуры могут стать причиной репутационных издержек. Кроме того, нарушение нормальной работы резервуарного парка отрицательно сказывается на синхронности действий отделений, что затрудняет достижение поставленных целей операции.

На основании вышеизложенного следует признать актуальность выбранного направления исследований выпускной квалификационной работы. Решение обеспечения топливом российской авиации связано с выполнением задачи скорейшего возведения резервуарного парка, в котором значительная роль отведена вертикальным резервуарам, способным обеспечить накопление, прием и раздачу топлива.

Требования по мобильности и возникающие трудности различного характера, способные помешать доставке крупногабаритных грузов, заставляют применять сборку и сварку резервуаров из отдельных листов. Технология полистовой сборки и сварки вертикальных резервуаров хорошо отработана и может быть осуществлена различными строительными организациями.

При построении технологии строительства резервуаров следует значительное внимание уделять правильности выполнения технологических процессов сварки, так как именно они определяют безопасность дальнейшей эксплуатации все конструкции. Также от производительности применяемых сварочных технологий зависит скорость возведения всего резервуара, что имеет решающее значение в настоящее время. Значительное уменьшение сроков возведения резервуаров может быть достигнуто в «случае замены ручной сварки на механизированные и автоматические способы, в связи с чем нормативная документация специально указывает на преимущественный выбор автоматических и механизированных способов сварки» [20].

Таким образом, базовая технология возведения резервуара, которая подробно описывается в ходе выполнения отчётов по практикам, имеет значительные резервы для совершенствования. В частности, применяемая ручная дуговая сварка должна быть заменена на более перспективный способ, также при замене способа сварки необходимо учесть мировой и российский опыт в применении сварочных технологий. При выборе технологических решений следует отдавать предпочтение решениям, имеющимся на отечественном рынке, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от поставок высокотехнологичного оборудования иностранного производства [10], [11], [16], [17]. Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества операции сварки при возведении резервуара для авиационного топлива.

1 Современное состояние вопроса сварки резервуаров для авиационного топлива

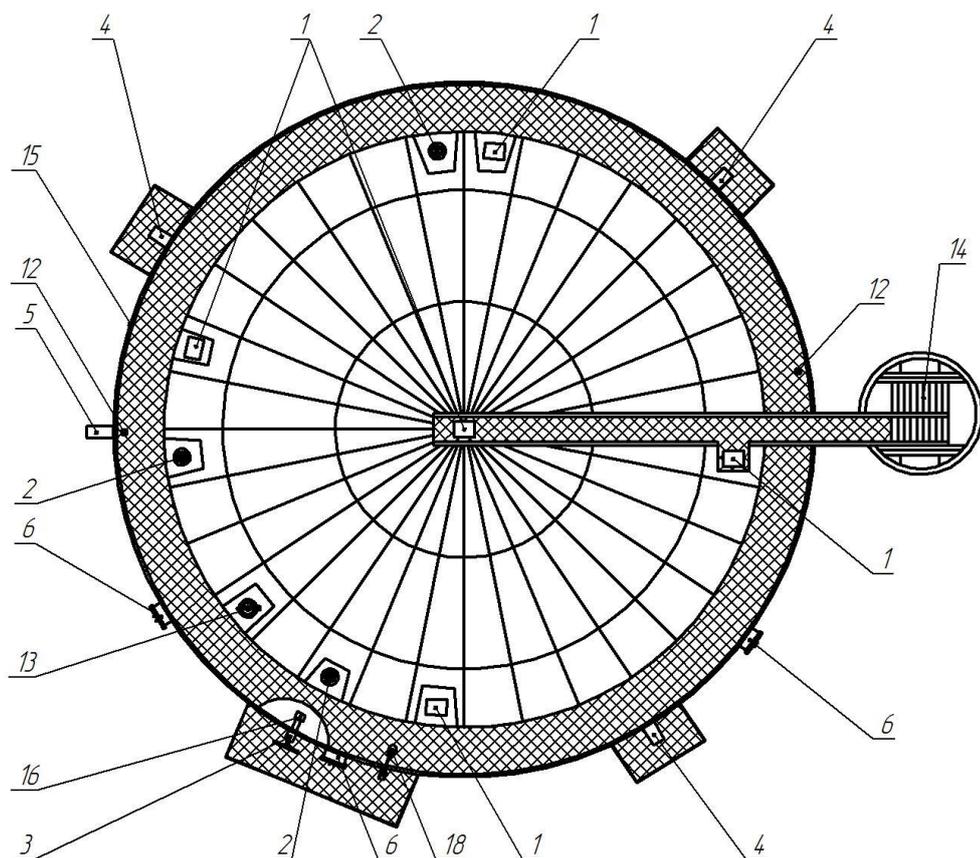
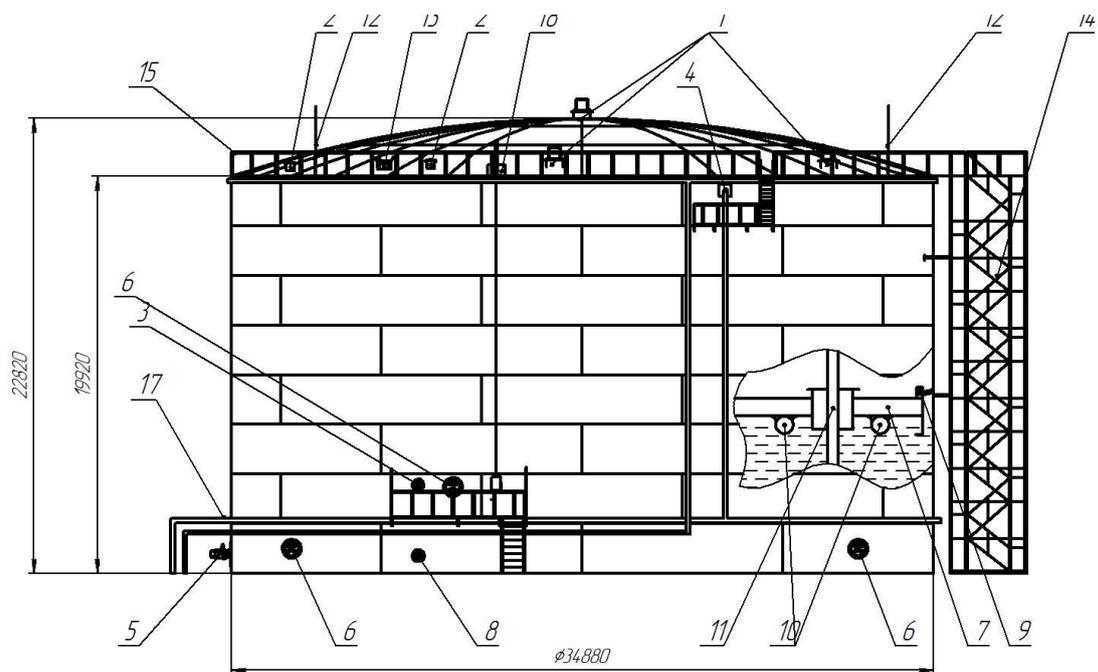
1.1 Сведения о конструкции резервуара и условиях эксплуатации

Выпускная квалификационная работа рассматривает вопросы построения технологии сборки и сварки при строительстве резервуарного парка, который будет использован для накопления и раздачи авиационного топлива ТС-1, которое широко применяется для работы беспилотной авиации. «Рассматриваемый резервуар представлен на рисунке 1 и имеет объем 20 тысяч кубических метров. Операции по хранению, приему и выдаче топлива выполняются при температурах окружающего воздуха от -45 до +45 градусов» [21].



Рисунок 1 – Резервуар для авиационного топлива РВСП-20000

«Конструкция резервуара, общий вид и функциональная схема которого представлены на рисунке 2, предусматривает наличие следующих элементов: 1 – патрубок вентиляционный, 2 – люк световой, 3 – механизм управления хлопушей, 4 – генератор пены, 5 – кран сифонный, 6 – люк-лаз, 7 – понтон, 8 – патрубок приёмо-раздаточный, 9 – уплотняющий затвор, 10 – поплавков, 11 – направляющая, 12 – молниеприёмники, 13 – замерный люк, 14 – лестница шахтная, 15 – ограждение, 16 – хлопуша, 17 – система орошения, 18 – поплавковый уровнемер» [21].



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

Рисунок 2 – Устройство резервуара для хранения авиационного топлива РВСП-20000» [21]

«Обеспечение выполнения предусмотренных функций резервуара предусматривает наличие в его конструкции вспомогательного оборудования. В первую очередь, к такому оборудованию относят дыхательную арматуру, наличие которой позволяет устранять перепады давления, которые неминуемо возникают при откачке резервуара и заполнении резервуара, дыхательная аппаратура выравнивает давление внутри резервуара и атмосферное давление. Также в состав вспомогательной аппаратуры входят устройства, обеспечивающие прием и выдачу топлива, а также устройства для контроля уровня топлива» [21]. При длительном хранении топлива на дне резервуара происходит отложение осадка, для удаления которого служит механизм размыва отложений и их удаления. Также при хранении топлива на дне резервуара скапливается отстоявшаяся вода, которую удаляют через сифонный кран.

В «крыше резервуара имеются технологические и световые люки, позволяющие выполнять техническое обслуживание резервуара и контролировать его состояние. Резервуар снабжен аварийным клапаном, который позволяет сбрасывать избыточное давление в резервуаре при его нагреве» [21].

Стенка резервуара имеет ступенчатую толщину. Нижние пояса резервуара выполнены из стали толщиной 18 мм, средние пояса резервуара выполнены из стали толщиной 14 мм и стали толщиной 12 мм. Верхние пояса резервуара выполнены из стали толщиной 10,5 мм. Всего стенка резервуара имеет восемь поясов с распределением по толщине: пояс I – 18 мм, пояс II – 14 мм, пояс III – 12 мм, пояса IV...VIII – 10,5 мм. При сборке и сварке листов в процессе строительства резервуара применяется полистовой метод, поэтому уже на заводе-изготовителе все листы выполнены с фрезерованием и гибкой под последующую сборку на месте. После изготовления листы упаковывают и перемещают на место строительства резервуара.

1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара

Стенка резервуара для хранения авиационного топлива выполняется из стали 09Г2С, которая применяется для конструкций, работа которых планируется в температурном диапазоне $-70...+450$ градусов. Сталь 09Г2С нашла применение при строительстве ответственных конструкций нефтеперерабатывающей и химической промышленности. При условии правильности назначения параметров режима сварки и термической обработки сварные конструкции из стали 09Г2С имеют высокие эксплуатационные характеристики. В таблице 1 представлен химический состав стали 09Г2С [28], который обуславливает хорошую свариваемость стали с применением всех способов сварки.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 09Г2С

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

Несмотря на малое содержание углерода и хорошую свариваемость, при проектировании конструкций из стали 09Г2С и построении технологии сварки необходимо учитывать особенности её реагирования на термический цикл при сварке, которые описаны в работах [4], [5], [7] и [26].

При сварке происходит укрупнение структуры основного металла в зоне термического влияния, которое вызывает некоторое снижение эксплуатационных свойств и может стать причиной возникновения нештатных ситуаций, особенно сильно проявляют себя участки с укрупнённым зерном в ходе ударного воздействия и под знакопеременными нагрузками. Также следует принимать во внимание «образование при сварке зон с локальным повышением уровня остаточных напряжений, действие которых в конструкции проявляется не только в снижении механических характеристик, но и ускорении коррозионных процессов» [27], а также

растрескивании в процессе эксплуатации. Техника и режимы сварки с высокими скоростями охлаждения могут стать причиной возникновения в металле закалочных структур, в результате чего в теле основных структурных составляющих, перлита и феррита, образуется значительное количество бейниа, мартенсита и остаточного аустенита. Наличие в стали углерода, марганца и кремния приводят к увеличению образующихся после сварки закалочных структур, с которыми необходимо считаться. «Поэтому при сварке конструкций из стали 09Г2С необходимо более обоснованно выбирать параметры режима сварки и соблюдать технику сварки по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей» [27], необходимо применять режимы и технику с пониженной погонной энергией. Также успешное противодействие образованию закалочных структур при сварке стали 09Г2С оказывается предварительным подогревом.

Сварка «конструкций из рассматриваемой стали сопровождается опасностью получения таких дефектов, как непровары, поры и горячие трещины» [1], [2].

С опасностью возникновения горячих трещин при сварке стали 09Г2С необходимо считаться, так как повышенное по сравнению с низкоуглеродистыми сталями суммарное содержание углерода, кремния и марганца приводит к снижению деформационной способности металла в нагретом состоянии. Применение сварочной проволоки, которая имеет в своем составе пониженное содержание серы, фосфора и углерода, позволяет уменьшить опасность возникновения горячих трещин при сварке. Также противодействовать возникновению горячих трещин можно путем соблюдения правильной последовательности выполнения сварных швов и их геометрии [18], [26]. Повышение скорости сварки приводит к увеличению вероятности возникновения горячих трещин. Для уменьшения опасности возникновения горячих трещин сварку следует вести без поперечных колебаний, поддерживая минимальную длину дуги. При обрыве дуги зажигание и гашение необходимо проводить на кромках или наплавленном

металле, следует заплавлять кратеры, которые не допускается выводить на основной металл. Устранение опасности возникновения горячих трещин происходит уже на этапе проектирования конструкции, стыковые сварные швы более успешно противостоят образованию горячих трещин по сравнению с тавровыми соединениями. Сварка порошковой проволокой позволяет существенно снизить опасность горячих трещин, так как при этом способе наблюдается повышенная текучесть металла.

Непровары возникают по причине несоблюдения техники сварки и параметров режима сварки. Также на образование непроваров может повлиять некачественная зачистка поверхности деталей перед сваркой. При выполнении многопроходных швов требуется проведение зачистки каждого валика. Возникающие при сварке дефекты необходимо своевременно обнаруживать и устранять.

Причиной появления пор при сварке является превышение заданной скорости сварки и выполнение сварки с применением электродов большого диаметра. Также причиной появления пор при сварке может стать неправильно проведенная прокалка сварочных электродов.

При назначении сварочных режимов для конструкций из стали 09Г2С по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей необходимо придерживаться меньших значений погонной энергии.

1.3 Операции базового технологического процесса

При приемке сварочных электродов необходимо проверить наличие «сертификата завода-изготовителя. Если такого сертификата нет, следует провести предварительные испытания, в ходе которых проверяют соответствие сварочных электродов требованиям стандартов. Также предварительные испытания» [21] могут быть проведены по инициативе службы технического контроля, если при сварке обнаружено отклонение свойств металла сварного шва от заявляемых.

Поступающие на участок сборки и сварки заготовки должны иметь разделку, выполненную в заводских условиях, форма и размеры которой должны соответствовать требованиям чертежа. Допускается кривизна заготовок с отклонением от плоскости не более 3 мм на погонный метр. «Заготовки должны быть тщательно зачищены на ширину до 20 мм от кромок, на этой поверхности не должно присутствовать следов ржавчины, масла и других загрязнений» [11].

Оборудование для сварки должно быть снабжено измерительными приборами, позволяющими контролировать соблюдение параметров режима сварки. Для сборки применяются специальные приспособления, которые должны обеспечивать соблюдение требуемой точности сборки. Привариваемые к листам при сборе элементы приспособления могут играть роль концентраторов напряжений, поэтому необходимо стремиться к минимальному тепловому воздействию на основной металл при приварке таких приспособлений.

«При выполнении сварных швов на стенке резервуара первыми сваривают вертикальные стыки нижнего пояса. При этом к сварке следует приступать только после того, как были собраны и проверены не менее четырех листов. Выполняют два прохода с одной стороны, после чего со обратной стороны зашлифовывают корень шва до чистого бездефектного металла. Горизонтальные швы выполняют после того, как

При выполнении базовой технологии предусматривается ручная дуговая сварка и механизированная сварка в защитных газах.

Для выполнения механизированной сварки в защитном газе применяется полуавтомат ПДГ-508, питание сварочной дуги происходит от сварочной установки УСТ-22, которая собрана на базе гусеничного трактора ДТ-75. Сварку ведут проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм, для защиты зоны сварки применяется чистый углекислый газ. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. В таблице 2 приведены параметры режима механизированной сварки в зависимости от положения сварного

шва» [11]. В зависимости от скорости ветра устанавливают расход защитного газа, который при скорости ветра до 2 метров в секунду составляет 10...20 литров в минуту, а при скорости более 2 метров в секунду – 25...30 литров в минуту. При скорости ветра более 5 метров в секунду сварку не выполняют.

«Ручную дуговую сварку ведут с применением электродов УОНИ 13/55 диаметром 3 мм и диаметром 4 мм. При применении электродов диаметром 3 мм устанавливают сварочный ток 90...120 А, при применении электродов диаметром 4 мм устанавливают сварочный ток 130...170 А» [11].

Таблица 2 – Параметры режима механизированной сварки

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

Выполнению прихваток должен предшествовать предварительный подогрев, который выполняется на ширине металла 50 мм в обе стороны от сварного шва. Назначение температуры предварительного подгрева выполняют в зависимости от температуры окружающего воздуха, в случае, если температура окружающего воздуха составляет менее + 5 °С, кромки следует прогревать до 40...50 °С. В ходе заполнения разделки проводя сопутствующий подогрев, целью которого является недопущение снижения температуры между слоями ниже 50 °С. При снижении температуре ниже этой величины проводят сопутствующий подогрев.

При строительстве резервуара проводят контрольные операции. На 100 % сварных швов проводят визуально-измерительный контроль, перед

которым следует очистить поверхность от брызг металла и шлака, очистить поверхность деталей на ширину 50 мм в обе стороны. «Визуально-измерительный контроль позволяет выявить такие дефекты, как наплывы, прожоги, грубую чешуйчатость, свищи, незаваренные кратеры, трещины и выходящие на поверхность поры» [11]. «Помимо визуально-измерительного контроля проводят ультразвуковой контроль, который выполняют после исправления всех дефектов, обнаруженных в ходе визуально-измерительного контроля. Объем ультразвукового контроля зависит от места расположения сварного шва. Если сварной шов прилегает к отверстиям и люкам, объем ультразвукового контроля составляет 100 %. Если исследуется горизонтальный сварной шов, объем ультразвукового контроля составляет 20 %. Если исследуется пересечение сварных швов, объем ультразвукового контроля составляет 100 %. Если исследуется вертикальный сварной шов, объем ультразвукового контроля составляет 20 %» [11]. «При проведении ультразвукового контроля обнаруживаются такие дефекты, как трещины, свищи, поры и шлаковые включения. После строительства резервуара проводят гидравлические испытания, в ходе которых резервуар наполняют водой и поднимают в нем давление до 0,82 МПа. При заполнении резервуара скорость нарастания давления не должна превышать 0,5 МПа в минуту. Выдержка резервуара под давлением проходит в течение 30 минут. Запрещено обстукивать резервуар в течение этого времени. После того, как резервуар выдерживали под давлением 0,82 МПа в течение 30 минут, давление снижают до 0,66 МПа» [11], и при таком давлении осматривают состояние стенки резервуара. После проведения испытаний резервуар опорожняют. В ходе проведения испытаний должна сохраняться целостность стенки оболочки, давление внутри резервуара, измеряемое при помощи манометра, не должно уменьшаться в течение всего времени испытаний. Разъемные соединения не должны иметь следов течи, а сварные швы – потения, течи и пузырьков.

1.4 Обоснование метода возведения резервуара

Возведение резервуаров для хранения топлива может быть выполнено по одной из методик, выбор которых осуществляется в зависимости от условий строительства резервуара и технических возможностей организации, выполняющих работы по строительству резервуара. Наиболее простым в исполнении следует признать полистовой метод, который также известен как «метод наращивания поясов», выполнение сварки по такому методу представлено на рисунке 3. Сборку и сварку выполняют с применением предварительно отвальцованных листовых заготовок



Рисунок 3 – Метод наращивания поясов при возведении резервуара

Сборка и сварка резервуара с применением полистового метода позволяет обеспечить простоту доставки элементов к месту возведения резервуара. Поскольку элементы резервуара привозятся в виде отдельных листов, для их доставки не требуется применения специальной транспортной техники. Становится возможным применение автотранспорта, нет необходимости доставки с помощью железнодорожного и водного транспорта. Также применение полистового метода позволяет значительно сократить площадь строительной площадки, что в ряде случаев играет решающую роль при выборе методики возведения резервуара в стесненных условиях. Такое может иметь место при расширении уже имеющегося резервуарного парка предприятия, так как в этом случае значительно

усложняется транспортировка крупногабаритных грузов через уже построенные объекты на работающем предприятии.

Таким образом, при проведении строительства в неблагоприятных условиях и в стесненных условиях, а также с учётом логистических трудностей, сопровождающих доставку грузов по некоторым территориям, возведение резервуара с применением полистового метода может оказаться единственно правильным решением.

Однако при обосновании выбора полистового метода возведения следует рассмотреть недостатки метода. Первым недостатком является малая производительность, которая возникает по причине того, что большинство операций приходится выполнять на территории самой строительной площадки. Также следует учитывать, что большая часть работ проводится на высоте, что, во-первых, существенно усложняет их выполнение и увеличивает трудоемкость, а во-вторых, отрицательно сказывается на качестве выполнения. Также при полистовом методе существенно увеличивается количество сварных швов, которые выполняются в полевых условиях, что усложняет проведение работ по контролю качества и справлению дефектов сварки.

На рисунке 4 представлено возведение резервуара с применением методики подращивания, которая также широко распространена.

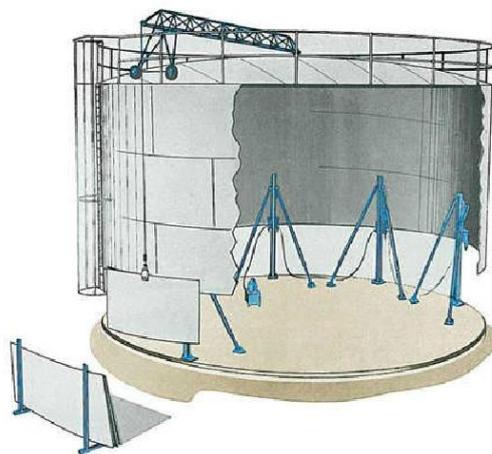


Рисунок 4 – Возведение резервуара методом подращивания

«При возведении резервуара методом подрачивания предварительно выполняют сборку и сварку днища резервуара. Далее выполняют сварку верхнего пояса резервуара, опорного кольца и крыши. С применением системы домкратов поднимают сваренную конструкцию на высоту пояса, монтируют листы следующего пояса и сваривают их. Далее всю конструкцию поднимают на высоту одного пояса, выполняют сборку и сварку следующего пояса. Сварка всего резервуара происходит на высоте одного пояса сверху-вниз, что позволяет существенно снизить трудоемкость сварочных работ, повысить производительность и качество» [11]. При возведении резервуара методом подрачивания нет необходимости применения строительных лесов. При этом размеры строительной площадки ещё больше уменьшаются по сравнению с применением полистового метода, так как вместо подъемных кранов применяется система гидравлических домкратов. Положительно на качестве сварных швов сказывается их выполнение под крышей резервуара.

Существенным недостатком, ограничивающим применение метода подрачивания, является высокая сложность и трудоемкость обеспечения устойчивости стенки резервуара при её подъёме, так как в течение всего процесса массивная конструкция является подвешенной в воздухе.

При строительстве резервуарного парка наиболее высокой производительностью обладает метод рулонирования, который представлен на рисунке 5. «При таком методе возведения резервуара сварку всего полотна днища и стенки проводят на заводе-изготовителе. Далее полотна сворачивают в рулоны и доставляют к месту возведения резервуара при помощи специальной техники. Сварку рулонов стенки и днища на заводе-изготовителе проводят с применением автоматической сварки под флюсом, что положительно сказывается на производительности и качестве работ» [11]. Также на заводе-изготовителе проводят контроль качества с применением имеющихся на предприятии установок, что позволяет минимизировать дефекты в днище и стенке резервуара.

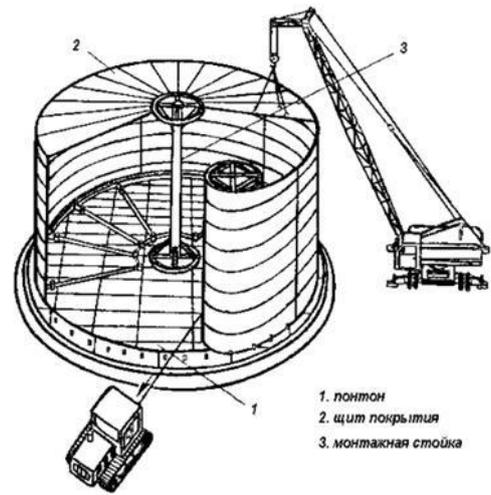


Рисунок 5 – Возведение резервуара методом рулонирования

Применение метода рулонирования при возведении резервуаров ограничивается по причине присущих ему недостатков. Первым недостатком является необходимость наличия на заводе-изготовителе необходимого оборудования для автоматической сварки. Без применения такого оборудования метод рулонирования будет неэффективным. Также завод-изготовитель должен иметь оборудование для сворачивания рулонов. Поэтому, несмотря на высокие экономические и эксплуатационные показатели метода рулонирования, оно может быть применен только при массовом производстве однотипных резервуаров и требует вложение существенных средств в производство.

Вторым недостатком метода рулонирования является необходимость преодоления логистических трудностей, связанных со значительными габаритами и массой транспортируемых рулонов днища и стенки резервуара. Третьим недостатком является применение специальной техники для монтажа и разворачивания полотен днища и стенки, что также приводит к увеличению строительной площадки. В стесненных условиях при дооснащении существующего резервуарного парка приходится перемещать грузы через уже построенные объекты, что может быть сильно затруднительным при применении методов рулонирования.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Проведенный анализ методов возведения резервуаров позволил обосновать для построения проектной технологии применить полистовой метод. Повышение эффективности сварочных работ будет достигнуто при устранении недостатков базовой технологии.

При работе над исполнительской частью следует выполнить обоснование выбора способа сварки резервуара, который основывается на анализе преимуществ и недостатков рассмотренных способов сварки с точки зрения технологичности и эксплуатации резервуара. Выбор способа сварки следует обосновать с применением экспертной оценки сделанной по технологическим критериям согласно технической и научной документации.

Также в исполнительском разделе предстоит решить вторую задачу, которая заключается в составлении последовательности операций технологического процесса при строительстве резервуара, назначении условий их выполнения и выборе технологического оборудования для обеспечения каждой операции.

Третьей задачей является оценка промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды [3], [8].

Четвёртой задачей является экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Решение этой задачи предусматривает оценку базовой и проектной технологии с точки зрения затрат на их осуществление и сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий [13], [14].

2 Проектная технология возведения резервуара

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при возведении резервуарного парка. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для достижения поставленной цели предстоит решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности сварочных процессов. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

Для поиска информации воспользуемся ключевыми словами «сварка резервуаров» «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «статья», «диссертация».

Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам.

В первом источнике научно-технической информации [24] доказана высокая перспективность импульсно-дуговых процессов при построении технологии сварки и ремонта металлических конструкций различного

назначения. Применение импульсного режима существенно снижает испарение электродного металла, что, повышает энергоэффективность процесса сварки за счёт повышения эффективного КПД сварочного процесса. Кроме того, существенно снижается потеря электродного материала на разбрызгивание и угар.

Результаты работы будут использованы для обоснования выбора способа сварки при возведении резервуара и для построения проектной технологии ремонтной сварки, если будет принято решение применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Во второй работе [19] представлен промышленный опыт применения технологии наплавки порошковой проволокой на различных предприятиях. Показана высокая эффективность применения механизированной наплавки порошковой проволокой. Для промышленности предложена проволока оригинального состава диаметром 1,6 мм, получившая название ПП-АН198, которая позволяет выполнять наплавку на листовую низкоуглеродистую сталь с получением биметалла. Применение этой проволоки отличается отсутствием дефектов в наплавленном металле и уменьшенным уровнем остаточных напряжений.

Данная работа позволяет судить о высокой эффективности применения сварки порошковой проволокой и будет рассмотрена для обоснования выбора способа ремонтной сварки при построении проектной технологии возведения резервуара для хранения авиационного топлива.

В третьей работе [9] «проведённые исследования позволили повысить адекватность математического моделирования тепловых процессов при ручной дуговой сварке.

Данная работа показывает эффективность применения ручной дуговой сварки и будет рассмотрена для обоснования выбора способа сварки резервуара» [9].

В четвёртой работе [31] описывается опыт применения дополнительной горячей присадки при выполнении автоматической сварки

под флюсом. За счёт применения дополнительной горячей присадки появляется дополнительная возможность эффективного управления введением в сварной шов элементов-модификаторов. Также ожидаемое увеличение коэффициента наплавки составляет 100...150 %. За счёт введения дополнительной горячей присадки улучшаются тепловые условия формирования сварного шва, снижается перегрев основного металла и опасность получения горячих трещин. Также при введении дополнительной горячей присадки отмечается повышение стойкости металла сварного шва против образования холодных трещин.

Данная работа показывает эффективность применения автоматической сварки под флюсом и будет рассмотрена для обоснования выбора способа сварки резервуара.

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

Данная работа показывает эффективность применения сварки порошковой проволокой и будет рассмотрена для обоснования выбора способа сварки резервуара.

Таким образом, на основании источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки для детального анализа и обоснования выбора способа сварки следует принять следующие способы:

- ручная дуговая сварка;
- механизированная и автоматическая сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения;

- механизированная и автоматическая сварка в защитных газах порошковой проволокой;

- механизированная и автоматическая сварка самозащитной порошковой проволокой;

- автоматическая сварка под флюсом.

В базовой технологии применяется ручная дуговая сварка, которая до недавнего времени являлась самым распространенным способом при изготовлении металлических конструкций. В числе преимуществ этого способа сварки следует указать высокую универсальность способа и относительную дешевизну применяемого оборудования. Кроме того, оборудование для ручной дуговой сварки уже имеется в достаточном количестве на каждом предприятии, и его применение не вызывает вопросов, а приобретение новых навыков при построении технологического процесса сварки не требуется.

В настоящее время в мире происходит повсеместная замена ручной дуговой сварки более производительными механизированными и автоматическими способами сварки. Это происходит по причине недостатков ручной дуговой сварки, которые могут иметь принципиальное значение при построении технологических процессов в современном производстве.

Первым недостатком является перерасход сварочных электродов, который происходит по причине разбрызгивания и угара, кроме того, значительное количество электродного материала расходуется на огарки.

Вторым недостатком является необходимость прерывания процесса сварки на замену сварочного электрода, что отрицательно сказывается на производительности и качестве сварочных работ.

Третьим недостатком является зависимость качества выполнения сварочных работ от квалификации сварщика, которая оказывается критической и заставляет затрачивать значительные ресурсы предприятия для подготовки сварщиков-профессионалов.

Четвертым недостатком ручной дуговой сварки следует указать тяжелые условия труда сварщика, по причине которых происходит образование профессиональных заболеваний.

«Сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет повысить существенно повысить эффективность проведения сварочных работ по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке не происходит образования шлаковой корки, что упрощает проведение многослойной сварки. Кроме того, низкая текучесть расплавленного металла позволяет проводить сварку в различных пространственных положениях. Применение механизированной сварки в защитных газах позволяет существенно улучшить условия труда сварщика» [29].

«Следует указать на недостатки механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Первым недостатком является необходимость применения газовой аппаратуры, которая ограничивает мобильность сварщика. Вторым недостатком следует указать низкую пространственную стабильность сварочной дуги и усиление разбрызгивания при переходе на форсированные режимы сварки. В качестве третьего недостатка следует указать недостаточную текучесть расплавленного металла, по причине которой возможно образование несплавлений в многослойных швах» [29].

При проведении многочисленных экспериментов и анализе производственного опыта следует признать высокую перспективность импульсно-дуговых процессов при построении технологии изготовления и ремонта металлических конструкций различного назначения [6], [12]. Применение импульсного режима существенно снижает испарение электродного металла, что, повышает энергоэффективность процесса сварки за счёт повышения эффективного КПД сварочного процесса. Кроме того, существенно снижается потеря электродного материала на разбрызгивание и угар. Высокая эффективность импульсного управления обеспечивается за счёт того, что происходит разделение по времени процесса переноса

электродного металла и процесса плавления электродной проволоки. При этом следует отметить высокую перспективность применения многоуровневых импульсов.

Процесс механизированной сварки с применением порошковой проволоки имеет ряд преимуществ перед сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения и может быть признан перспективным. Применение порошковой проволоки позволяет повысить мобильность сварщика за счёт отказа от использования газового оборудования. Так как при сварке порошковой проволокой улучшается защита зоны сварки, её можно рекомендовать для проведения работ на открытом воздухе. «Производительность сварки с применением порошковой проволоки также повышается по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения.

Однако сварка порошковой проволокой имеет ряд недостатков, среди которых следует указать неравномерное расплавление проволоки по сечению, что объясняется различным выделением тепла в металлической оболочке и порошковом наполнителе проволоки» [22]. Вторым недостатком является повышение опасности шлаковых включений, которая наиболее сильно проявляется при выполнении корневого слоя шва. Третьим недостатком является образование при сварке шлака, который необходимо отбивать, что повышает трудоемкость. Ещё одним недостатком является излишняя гибкость и мягкость порошковой проволоки, по причине которой возникают заломы и застревание проволоки в механизме подачи.

Сварку под флюсом следует признать самым производительным способом при возведении резервуарного парка. В числе преимуществ следует указать существенное улучшение условия труда сварщика по сравнению с другими способами сварки. Сварочная дуга горит под слоем флюса, что позволяет существенно снизить вредные излучения и выделения при горении сварочной дуги. Также при автоматической сварке под флюсом устраняется проблема разбрызгивания электродного металла, сварной шов характеризуется самым высоким качеством и хорошим внешним видом.

Применение автоматической сварки под флюсом ограничивается по причине ряда недостатков. Первым недостатком является необходимость борьбы с осыпанием флюса при сварке в пространственном положении, отличном от нижнего. Вторым недостатком является сложность оборудования для сварки, которое не такое универсальное, как оборудование для ручной дуговой сварки. Третьим недостатком следует указать текучесть шлака, по причине которой возможно образование шлаковых включений. Четвертым недостатком является повышенная текучесть расплавленного металла, которая заставляет повышать требования к сборке соединения.

Проведённые исследования [31] позволили предложить мероприятия по повышению эффективности автоматической сварки под флюсом. За счёт применения дополнительной горячей присадки появляется дополнительная возможность эффективного управления введением в сварной шов элементов-модификаторов. Также ожидаемое увеличение коэффициента наплавки составляет 100...150 %. За счёт введения дополнительной горячей присадки улучшаются тепловые условия формирования сварного шва, снижается перегрев основного металла и опасность получения горячих трещин. Также при введении дополнительной горячей присадки отмечается повышение стойкости металла сварного шва против образования холодных трещин.

На основании проведенного литературного исследования может быть обоснован выбор способа сварки при построении проектной технологии сварки при возведении резервуара для хранения авиационного топлива.

Высокие показатели по качеству, производительности и условию проведения сварочных работ позволяют рекомендовать автоматическую сварку под флюсом, применение которой по сравнению с базовой технологией позволит получить положительный экономический эффект, величина которого будет рассчитана в оценочном разделе настоящей выпускной квалификационной работы.

2.2 Общие требования к выполнению сварочных операций

Сборка и сварка элементов резервуара должны предусматривать мероприятия, направленные на уменьшение уровня остаточных напряжений в конструкции.

При выполнении сварных швов зажигание дуги следует проводить на свариваемых кромках или ранее сваренном металле. Запрещено выводить кратер на основной металл.

При сварке следует поддерживать высокую стабильность параметров режима, ток сварки должен изменяться в диапазоне, не превышающем 10 % от установленного значения, а напряжение – в диапазоне, не превышающем 5 % от установленного значения. Напряжение питающей сети, подаваемое на первичную обмотку трансформатора, не должно выходить за пределы $\pm 5\%$ от номинального напряжения.

При сварке следует выполнять тщательную зачистку валиков от шлака и брызг металла. При обнаружении на наплавленном металле кратерных трещин, пористости и других недопустимых дефектов следует удалять их.

При обнаружении кратера в месте обрыва дуги его следует зачистить и заплавить.

Все выполняемые сварочные работы должны быть зафиксированы в журнале пооперационного контроля.

При сварке следует обеспечить плавный переход от шва к основному металлу. При превышении усиления сварного шва его зачищают механическим способом.

Многослойные швы следует выполнять непрерывно, вынужденный перерыв допускается при заполнении двухсторонней разделки не менее чем на половину и односторонней разделки не менее чем на две третьих.

При выполнении двухсторонних швов перед сваркой с обратной стороны следует выполнить зачистку корня шва до бездефектного металла.

2.3 Описание сварочного оборудования

«Для сварки кольцевых швов предлагается применить установку AGW-I, которая представлена на рисунке 6. Данное оборудование позволяет проводить сварку под флюсом толщин 8...45 мм. Поставщик оборудования – фирма Koike Aronson – Ransome, которая собирает сварочные комплексы на базе продукции фирмы Lincoln Electric. В сварочной установке применен выпрямитель DC-600, который представлен на рисунке 7-а и сварочная головка NA-3, которая представлена на рисунке 7-б» [11].



Рисунок 6 – Установка AGW-I для сварки кольцевых швов резервуара



Рисунок 7 – Сварочный выпрямитель DC-600 (а) и сварочная головка NA-3 (б) производства Lincoln Electric

Для механизированной сварки в защитном газе предлагается применить представленный на рисунке 8 полуавтомат Power Wave S500 производства фирмы Lincoln Electric.

Сварку вертикальных швов предлагается проводить в автоматическом режиме с использованием представленной на рисунке 9 сварочной каретки Universal производства фирмы BUG-O-MATIC.



Рисунок 8 – Сварочный полуавтомат Power Wave S500



Рисунок 9 – Портативная каретка Universal для сварки вертикальных стыков резервуаров

Предлагаемое сварочное оборудование позволяет выполнять прихватку и сварку как в ручном режиме (применение механизированной сварки в защитном газе), так и в автоматическом режиме. При этом кольцевые сварные швы выполняются автоматической сваркой под флюсом, а вертикальные сварные швы выполняются автоматической сваркой в защитном газе проволокой сплошного сечения.

2.4 Описание операция технологического процесса

При выполнении проектного технологического процесса сборки и сварки резервуара выполняются следующие операции:

- «сборка и частичная сварка днища резервуара;
- монтаж и частичная сварка первых трёх поясов стенки резервуара;
- сварка уторного шва;
- доварка днища резервуара;
- монтаж и сварка поясов стенки резервуара» [20].

Перед сборкой листов днища и стенки проводят их визуальный контроль. Выполняют очистку кромок и поверхности на расстоянии 50 мм от грязи, ржавчины и заусенцев. На кромках не допускается наличия расслоений, трещин и надрывов.

Далее кромки и поверхность листов на расстоянии 20 мм зачищают до металлического блеска, для этого применяют шлифовальную машину. «С нижней стороны одного листа устанавливают и прихваточным швом приваривают подкладную планку. Сборку стыка проводят на прихватках с зазором 4...6 мм. Смещение кромок допускается не более 1 мм. Длина прихватки составляет 50 мм, шаг между прихватками составляет 300 мм. Процесс сборки листов представлен на рисунке 10. После того, как прихватки были проставлены, необходимо провести их зашлифовывание» [20]. Сварку ведут обратноступенчатым способом участками по 700 мм. На рисунке 10 представлена схема сборки днища с применением стяжных клиновидных приспособлений. При сварке проводить послойный контроль качества, при обнаружении дефекта, дефектное место следует вышлифовать и провести повторную заварку. Параметры режима механизированной сварки в защитном газе представлены в таблице 2. Этапы сборки окраек на подкладке при изготовлении днища представлены на рисунке 11.

На рисунке 12 представлена схема сборки листов пояса резервуара с применением приварных приспособлений.

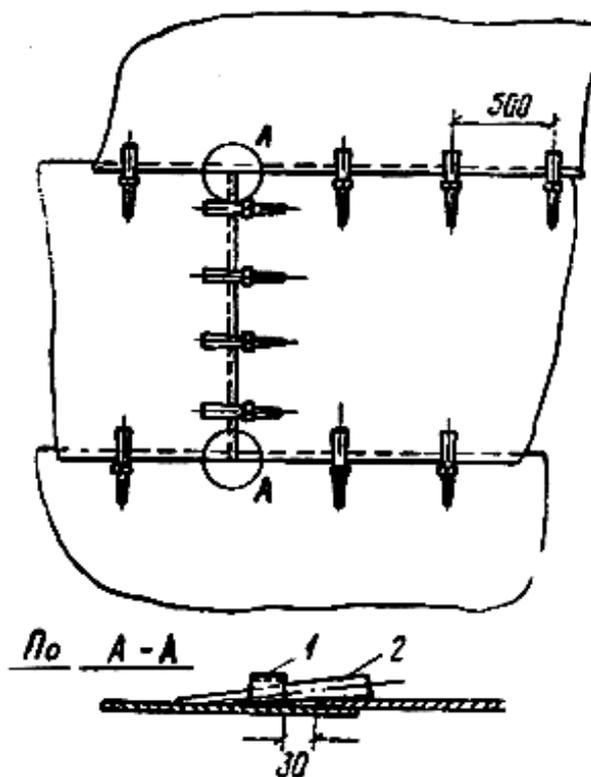


Рисунок 10 – Сборка листов днища с применением приспособлений

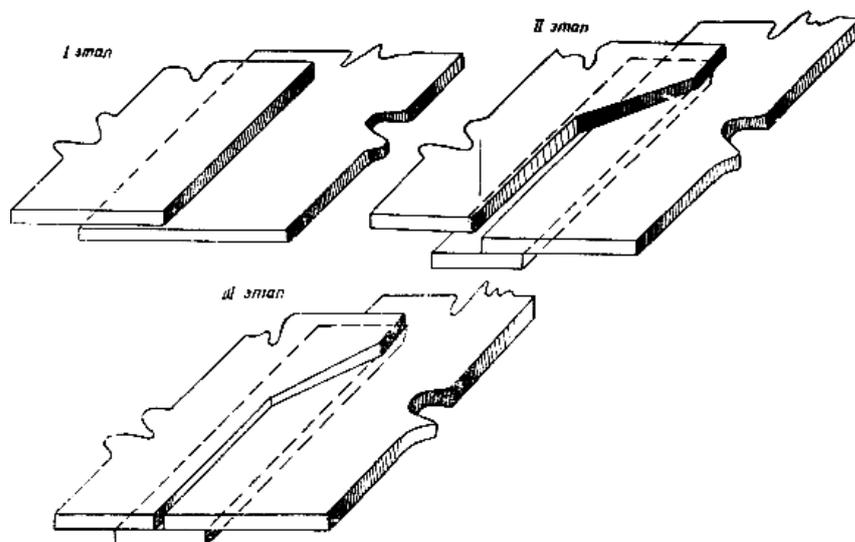
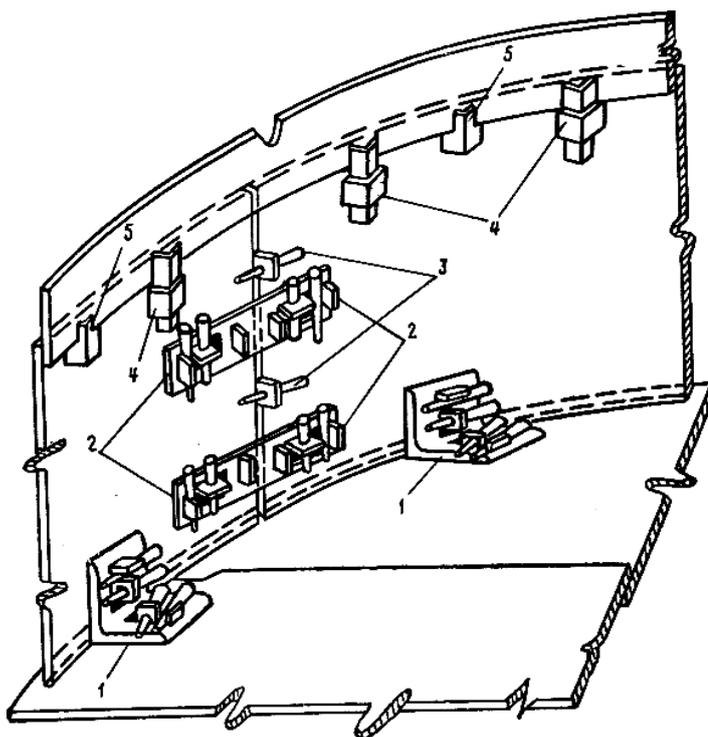


Рисунок 11 – Этапы сборки краев на подкладке при изготовлении днища

Перед установкой листа стенки необходимо провести проверку перпендикулярности по трем сторонам. Проверяется перпендикулярность двух боковых и одной нижней стороны. Перпендикулярность верхней стороны не проверяется. Вдоль всей верхней стороны листа выполняют риску, которая служит границей нахлестки, которая будет соблюдаться при

выполнении следующего пояса стенки резервуара. «С внутренней стороны резервуара приваривают ограничители 5, как показано на рисунке 12. На эти ограничители будет устанавливаться лист следующего пояса. К днищу по риске приваривают угловые стяжные приспособления 1 на расстоянии 600...1200 мм друг от друга. Эти приспособления позволяют фиксировать первый пояс стенки относительно днища резервуара» [21].



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

Рисунок 12 – Схема установки листов стенки резервуара

«При подготовке горизонтального стыка зачищают прилегающие на расстоянии 20 мм поверхности до металлического блеска. Конечные части вертикальных сварных швов зачищают до получения требуемой разделки кромок. При сборке горизонтального стыка смещение кромок должно быть не более 2 мм. Корневой слой шва горизонтального стыка выполняют механизированной сваркой в защитных газах. Сварку проводят захватками, в пределах каждой захватки сварку ведут участками длиной 300 мм обратноступенчатым способом. После того, как корневой слой шва был сварен, проводят его визуальный осмотр. Если обнаружены участки с

дефектами или с увеличенным усилением, их следует зашлифовать и переварить. Излишнее усиление снимают, добиваясь равномерного усиления по всей длине сварного шва.

После того, как корневой слой шва был сварен, зачищен и проконтролирован, выполняют сварку горизонтального стыка. Сварку ведут автоматическую под флюсом напроход. В таблице 3 представлены параметры режима сварки. Сварной шов ведут в два слоя. После выполнения каждого слоя проводят зачистку и визуальный контроль. При обнаружении дефектов дефектное место зашлифовывают и переваривают с применением механизированной сварки в защитных газах. Замки смежных слоев должны иметь смещение не менее 100 мм» [20].

Таблица 3 – Параметры режима автоматической сварки под флюсом горизонтальных стыков резервуара

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

«Для сварки под флюсом применяют флюс АН-348-А и сварочную проволоку Св-08ГА диаметром 3 мм. Для механизированной сварки применяют проволоку L-56 диаметром 1,14 мм и углекислый газ I сорта.

Для обеспечения качества сварки проводят пооперационный контроль, в течение которого проверяется соблюдение параметров режима, правильность последовательности выполнения сварных швов, соблюдение требований нормативной документации, размеры слоев сварного шва, наличие дефектов.

После сварки проводят визуально-измерительный контроль 100 % сварных швов, проверяют геометрию, форму сварного шва, наличие

недопустимых дефектов. После визуально-измерительного контроля проводят ультразвуковой контроль.

Поверхность сварного шва должна иметь равномерную чашуйчатость, не иметь прожогов, наплывов и сужений» [21]. Должен быть обеспечен плавный переход от наплавленного металла к основному металлу. Допускаются подрезы глубиной не более 5 % от толщины свариваемого металла. При ультразвуковом контроле допускаются одиночные дефекты размером не более 10 % от толщины свариваемого металла. Не допускаются непровары, несплавления и скопления наружных дефектов. Не допускаются трещины всех видов и направлений.

Применение неразрушающих методов происходит только после исправления дефектов, выявленных в ходе визуального контроля.

Выводы по второму разделу

Второй раздел настоящей выпускной квалификационной работы посвящен решению исполнительских задач, связанных с обоснованием выбора способа сварки и построением проектной технологии сварки.

На основании анализа источников-научно-технической информации принято решение применить механизированную сварку в защитных газах и автоматическую сварку под флюсом. Составлена проектная технология, назначены параметры режима и оборудование.

Дальнейшие работы необходимо выполнить в направлении оценки промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. Решение этой задачи предусматривает оценку производственных рисков и выработку перечня мер по их снижению [3], [8]. Также следует выполнить экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Решение этой задачи предусматривает оценку базовой и проектной технологии с точки зрения затрат на их осуществление и сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий [13], [14].

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

При выполнении настоящей выпускной квалификационной работы решались вопросы, связанные с повышением эффективности сварочных операция при строительстве резервуарного парка для хранения авиационного топлива. Вместо применяющейся согласно базовой технологии ручной дуговой сварки предлагается в проектной технологии использовать механизированную сварку в защитных газах и автоматическую сварку под флюсом. В ходе предлагаемых нововведений достигается положительный технический эффект, заключающийся в повышении производительности и качества работ, однако изменение технологического процесс повлечет за собой необходимость проведения мероприятий и применения технических средств, направленных на обеспечение безопасности персонала предприятия и охраны окружающей среды от антропогенного воздействия.

Анализ проектной технологии восстановительной наплавки представлен в таблице 4. Проектный технологический процесс укрупненно предусматривает последовательное выполнение восьми операций, особенности выполнения и применяемого оборудования представлены в столбцах таблицы 4. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал. Также для выполнения операция могут потребоваться расходные материалы.

Представленное в таблице 4 укрупненное представление технологического процесса позволяет в дальнейшем выполнить идентификацию негативных производственных факторов, которая сделает возможным выработку решений по их нейтрализации.

Таблица 4 – Операции проектного технологического процесса при сборке и сварке резервуара для хранения авиационного топлива

Операция	Оборудование
«укладка и частичная сварка радиальных стыков окраек	гусеничный кран, автокран, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля, сборочные приспособления, газовая аппаратура, дефектоскоп
укладка и сварка листов центральной части днища	гусеничный кран, автокран, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля, сборочные приспособления, газовая аппаратура, дефектоскоп
монтаж и частичная сварка вертикальных стыков первого пояса	автокран, сварочный источник питания, механизм подачи проволоки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля, сборочные приспособления, газовая аппаратура, дефектоскоп
сварка уторного шва	сварочный источник питания, сварочная головка, механизм позиционирования сварочной головки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля, сборочные приспособления
сварка недоваренных участков центральной части днища и окраек	сварочный источник питания, механизм подачи проволоки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля, сборочные приспособления, дефектоскоп, автокран, опоры-тумбы
приварка окраек к центральной части днища	источник питания, механизм подачи проволоки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля, сборочные приспособления, автокран, опоры-тумбы
монтаж следующих поясов и доварка вертикальных швов предыдущего пояса	сварочный источник питания, механизм подачи проволоки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля, сборочные приспособления, дефектоскоп, автокран
сварка горизонтального шва» [18]	источник питания, сварочная головка, механизм позиционирования сварочной головки, угловая шлифовальная машина, набор для проведения визуально-измерительного контроля

На основании данных таблицы 4 может быть выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду. Также дальнейшие изыскания должны быть направлены на обеспечение пожарной безопасности при проведении работ по сборке и сварке резервуаров.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Реализация операций проектной технологии, которые представлены в таблице 4, сопровождается образованием негативных производственных факторов, источниками которого является применяемое технологическое оборудование, элементы свариваемых деталей. Кроме того, при реализации технологического процесса с применением сварочных технологий источником негативных факторов является сварочная дуга. В таблице 5 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

Таблица 5 – Идентификация негативных производственных факторов

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
«укладка и частичная сварка радиальных стыков окраек	<ul style="list-style-type: none"> – «острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования, – движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования, – повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны, – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, – повышенная температура поверхностей оборудования, материалов, – инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации, – ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений, – рентгеновское излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений» [8]
укладка и сварка листов центральной части днища	
монтаж и частичная сварка вертикальных стыков первого пояса	
сварка уторного шва	
сварка недоваренных участков центральной части днища и окраек	
приварка окраек к центральной части днища	
монтаж следующих поясов и доварка вертикальных швов предыдущего пояса	
сварка горизонтального шва» [20]	

Источниками негативных производственных факторов при реализации проектной технологии становятся острые кромки деталей, движущиеся элементы сварочного оборудования, электрические части, рентгеновский аппарат.

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

Выполненная идентификация профессиональных рисков, представленная в таблице 5, позволяет предложить мероприятия и технические средства из имеющихся в арсенале промышленного предприятия решений, которые для наглядности были сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Устранение профессиональных рисков

Наименование негативного фактора	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
1) «острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) ролевые игры с работниками предприятия 3) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) предупреждающие плакаты и таблички 2) защитное отключение приводов оборудования 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) общеобменная вентиляция 2) устройства удаления загрязненного воздуха	Применение индивидуальных средств защиты органов дыхания
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) проверка изоляции и заземления 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ролевые игры с работниками предприятия	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, перчатками
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками
7) рентгеновское излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений» [8]	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками

По результатам анализа представленных в таблице 6 сведений можно заключить, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых в таблице 7 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски. При этом необходимость в разработке специализированных мероприятий и технических средств отсутствует.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

В процессе реализации проектной технологии на строительном участке возможно образование возгорания, так как сварочные работы являются источником повышенной пожарной опасности. При выполнении сварочных работ дуга, характеризующаяся повышенной температурой и излучением, разлетающиеся искры и нагретые кромки изделия могут вызвать возгорание. Кроме того, применение электрической аппаратуры, работа которой предусматривает протекание значительного тока, также становится потенциальным источником возникновения пожара. В таблице 7 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 7 – Идентификация класса потенциального пожара

«Наименование участка	Участок сборки и сварки резервуара
Оборудование	Сварочное и сборочное оборудование, 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» [8]	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке

На основании анализа представленных в таблице 7 данных, возникающий пожар, если таковой случится, может быть отнесен к классу опасности «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 8 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 8 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

«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 (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [8]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия.

3.5 Экологическая безопасность

При реализации проектных технологических процессов на современных предприятиях необходимо помимо защиты персонала от негативных производственных факторов рассмотреть вопросы защиты окружающей среды. Реализация технологического процесса становится причиной негативного воздействия на природу, при этом по мере развития технологий антропогенная нагрузка на окружающую среду возрастает. При неблагоприятном исходе в результате кумулятивного эффекта антропогенные факторы становятся причиной экологической катастрофы. Следование мировой экологической повестке, направленной на природосбережение, предполагает уменьшение антропогенного действия и защиту основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы от факторов.

Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 9. Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

Таблица 9 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с 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» [3]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [3]
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» [3]

Выводы по экологическому разделу

При выполнении экологического раздела настоящей выпускной квалификационной работы были рассмотрены негативные производственные факторы, действующие на персонал предприятия при реализации проектной технологии на рассматриваемом производственном участке. Выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их нейтрализации, представляющие набор стандартных методик и технических средств из резерва предприятия.

Также были рассмотрены вопросы обеспечения пожарной безопасности при выполнении сварочных работ при сборке и сварке резервуарного парка для хранения авиационного топлива. Возникающий на производстве пожар по классу опасности отнесен к категории «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода.

Кроме того, были рассмотрены негативные воздействия производства на окружающую среду и предложены мероприятия по обеспечению экологической ответственности и грамотности.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе методики и средства являются стандартными и имеются в резерве предприятия. Разработки специальных средств и методик для защиты персонала и окружающей среды не требуется.

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности работ при строительстве резервуаров для хранения авиационного топлива. Базовая технология сборки и сварки резервуара предусматривает применение ручной дуговой сварки и механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения.

Проведенный анализ методов возведения резервуаров позволил обосновать для построения проектной технологии применить полистовой метод. Повышение эффективности сварочных работ будет достигнуто при устранении недостатков базовой технологии.

На основании анализа источников-научно-технической информации принято решение применить механизированную сварку в защитных газах и автоматическую сварку под флюсом. Составлена проектная технология, назначены параметры режима и оборудование.

Поскольку применение предлагаемых решений вызывает изменение операций технологического процесса, ожидается изменение экономических показателей, которое позволит повысить эффективность производства за счёт повышения производительности труда и снижения трудоемкости. Кроме того, повышение производительности позволяет уменьшить коэффициент загрузки оборудования, что положительно скажется на оставляющих технологической, цеховой и заводской себестоимости изготовления резервуара.

Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	1100 тыс.	4200 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	16	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,2	3,2
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	30	30
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ m^2	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [13]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [13].

4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени F_H и эффективного фонда рабочего времени F_3 , который отличается от фонда рабочего времени s по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени B . Для расчётов принимается $B=7\%$.

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен $K_{см}$ и количество рабочих дней в году D_p , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем $K_{см}=1$ и $D_p=277$. С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве $D_{п}=7$ дней, в эти дни на величину $T_{п}=1$ час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным $B = 7\%$, таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

$$F_3 = F_H(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени $F_3 = 2054$ часов.

4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени $t_{шт}$. Для расчета величины штучного времени $t_{шт}$ необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как $t_{маш}$ – машинное время. Вспомогательное время $t_{всп}$ является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять $t_{всп} = 0,1t_{маш}$. На обслуживание рабочего места расходуется время $t_{обсл}$, для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$ » [14]. На личный отдых работника затрачивается время $t_{отд}$, для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять $t_{отд} = 0,05t_{маш}$. На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$. Таким образом, расчёт штучного времени для базового $t_{шт.баз}$ и проектного $t_{шт.проектн.}$ вариантов технологии составит:

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

При базовой технологии штучное время составляет $t_{шт} = 360 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 630$ часов. При проектной технологии штучное время составляет $t_{шт} = 90 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 157$ часов

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы P_g , значение которой зависит от штучного времени $t_{шт}$ и

эффективного фонда времени F_3 , расчёт годовой программы выполняется по формуле

$$П_{\Gamma} = F_3 / t_{шт.} \quad (4)$$

Согласно (4) были получены для базового варианта $П_{\Gamma} = 2054/630 = 3$ резервуара за год, для проектного варианта $П_{\Gamma} = 2054/157 = 13$ резервуаров за год. С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать 3 резервуара в год. С учётом годового эффективного фонда времени $F_3 = 2054$ часов, годовой программы $П_{\Gamma} = 3$, коэффициента выполнения нормы $K_{вн} = 1,03$, штучного времени $t_{шт}$ количество оборудования рассчитывается как

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot П_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для $t_{шт} = 630$ часов, $n_{расч.} = 630 \cdot 3 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$, при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для $t_{шт} = 157$ часов, $n_{расч.} = 157 \cdot 3 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте $n=1$. Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки K_3 следующим образом

$$K_3 = n_{расч} / n. \quad (6)$$

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен $K_3 = 0,9/1 = 0,9$, для проектного варианта коэффициент загрузки равен $K_3 = 0,4/1 = 0,4$. Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат.

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_{ТЗ} = 1,05$, нормы расхода H_p и цены $Ц_M$ материалов:

$$M = Ц_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем $M_{баз.} = (1900 \text{ кг} \cdot 110 \text{ р/кг} + 2100 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 12000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 455000 \text{ руб.}$ Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет $M_{баз.} = (4000 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 18000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 420000 \text{ руб.}$

Основная заработная плата $Z_{осн}$ является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени $t_{шт}$, и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет $C_ч = 200$ рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_d = 1,88$. Таким образом, для проектной и базовой технологии:

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

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 630$ часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы $Z_{осн} = 630 \cdot 200 \cdot 1,88 = 236880$ рублей; для проектного

варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 157$ часов, согласно (8) основная заработная плата $Z_{осн.} = 157 \cdot 200 \cdot 1,88 = 59032$ рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата $Z_{доп}$, для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит $K_{доп} = 0,12$. Величина $Z_{доп}$ пропорциональная основной заработной плате $Z_{осн.}$:

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн} = 236880$ рублей, поэтому согласно (9) $Z_{доп} = 236880 \cdot 12/100 = 28425$ рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн} = 59032$ рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата $Z_{доп} = 59032 \cdot 12/100 = 7083$ рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной $Z_{осн}$ и дополнительной $Z_{доп}$ заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП = $236880 + 28425 = 265305$ рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП = $59032 + 7083 = 66115$ рублей.

Размер отчислений на социальные нужды $O_{сн}$ пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{сн} = 0,34$, с учётом которого:

$$O_{сн} = ФЗП \cdot K_{сн}. \quad (10)$$

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 265305 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные

нужды $O_{\text{сн.}} = 265305 \cdot 34 / 100 = 90203$ рублей. Для проектного варианта технологии ранее получено $\Phi\text{ЗП} = 66115$ рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн.}} = 66115 \cdot 34 / 100 = 22480$ рублей.

Амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ являются составляющими затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается $N_a = 21,5\%$: эффективного фонда времени $F_э$, стоимости оборудования $\Pi_{\text{об}}$, которое для базового варианта составляет $\Pi_{\text{об}} = 1100000$ рублей, для проектного варианта $\Pi_{\text{об}} = 4200000$ рублей; машинного времени $t_{\text{маш}}$, которое для базового варианта составляет $t_{\text{маш}} = 630$ часов, для проектного варианта $t_{\text{маш}} = 157$ часов.

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot N_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_э \cdot 100}. \quad (11)$$

«Для базового варианта технологии согласно (10) $A_{\text{об}} = 1100000 \cdot 21,5 \cdot 630 / 2054 / 100 = 72538$ рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10) $A_{\text{об}} = 4200000 \cdot 21,5 \cdot 157 / 2054 / 100 = 39566$ рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ являются затраты на электрическую энергию $P_{\text{ээ}}$. Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии $\Pi_{\text{ээ}}$, которая для рассматриваемого варианта принимается $\Pi_{\text{ээ}} = 3,2$ руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени $t_{\text{маш}}$ и установленной мощности оборудования $M_{\text{уст}}$.

$$P_{\text{ээ}} = M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot \Pi_{\text{ээ}} / \text{КПД}. \quad (12)$$

Согласно (12) для базового варианта $P_{\text{ээ}} = 120 \cdot 16 \cdot 3,2 / 0,7 = 8777$ рублей. Согласно (12) для проектного варианта $P_{\text{ээ}} = 90 \cdot 20 \cdot 3,2 / 0,85 = 6776$ рублей» [14].

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных $A_{\text{об}}$ и $P_{\text{ээ}}$:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{ээ}}. \quad (13)$$

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии $Z_{об.} = 72538 + 8777 = 81315$ рублей, для проектного варианта технологии $Z_{об} = 39566 + 6776 = 46342$ рублей.

Технологическая себестоимость $C_{тех}$ является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте ФЗП = 265305 рублей, в проектном варианте ФЗП = 66115 рублей), затрат на материалы (в базовом варианте $M = 455000$ рублей, в проектном варианте $M = 420000$ рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте $O_{сс} = 90203$ рублей, в проектном варианте $O_{сс} = 22480$ рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте $Z_{об} = 81315$ рублей, в проектном варианте $Z_{об} = 46342$ рублей). Таким образом:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{сс} + Z_{об} . \quad (14)$$

«По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость изготовления резервуара для базового варианта составляет $C_{тех} = 455000 + 265305 + 90203 + 81315 = 891823$ рублей, для проектного варианта себестоимость составляет $C_{тех} = 420000 + 66115 + 22480 + 46342 = 554937$ рублей.

Расчёт цеховой себестоимости $C_{цех}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{цех} = 1,5$:

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии $C_{цех} = 891823 + 1,5 \cdot 236880 = 891823 + 355320 = 1247143$ рублей, для проектного варианта $C_{цех} = 554937 + 1,5 \cdot 59032 = 554937 + 88548 = 643485$ рублей.

Расчёт заводской себестоимости $C_{зав}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента заводских расходов $K_{зав} = 1,15$:

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

Согласно (16) $C_{зав} = 1247143 + 1,15 \cdot 236880 = 1247143 + 272412 = 1519555$ рублей для базовой технологии и $C_{зав} = 643485 + 1,15 \cdot 59032 = 643485 + 67887 = 711372$ рублей для проектной технологии» [14].

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 11, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 22.

Таблица 11 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	455000	420000
2. Фонд заработной платы	ФЗП	265305	66115
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	90203	22480
4. Затраты на оборудование	Зоб	81315	46342
5. Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	891823	554937
6. Цеховые расходы	$P_{цех}$	355320	88548
7. Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	1247143	643485
8. Заводские расходы	$P_{зав}$	272412	67887
9. Заводская себестоимость» [14]	$C_{зав}$	1519555	711372

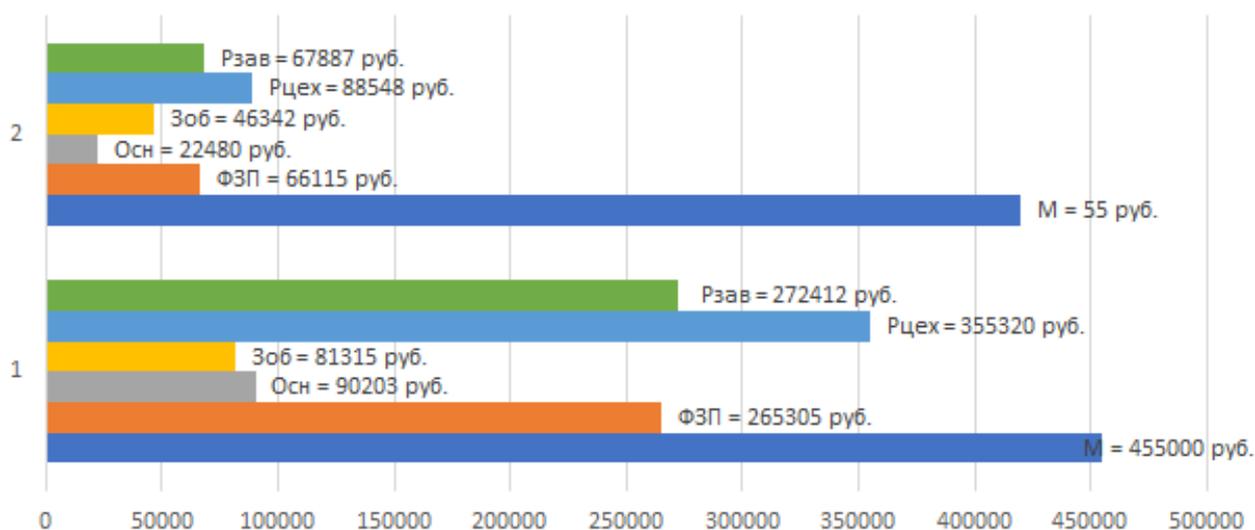


Рисунок 13 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений.

4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования $\Pi_{об.б.}$ определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается $T_c = 2$ года, и цены нового оборудования на рынке $\Pi_{перв.}$, которая принимается $\Pi_{перв.} = 1100000$ рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a = 21,5 \%$. Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (17)$$

«Согласно (17) $\Pi_{об.б.} = 1100000 - (1100000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 627000$ рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,9$, с учётом которого для остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.} = 627000$ рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 627000 \cdot 0,9 = 564300 \text{ рублей}. \quad (18)$$

Для расчета размеров капитальных затрат $K_{общ. пр.}$ по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади $K_{пл. пр.}$, капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$ и сопутствующих затрат $K_{соп.}$:

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

Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования $\Pi_{об. пр.} = 4200000$ рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов $K_{тз} = 1,05$ и коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,4$. Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$:

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

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет $K_{об.пр} = 4200000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 1764000$ рублей.

Сопутствующие капитальные затраты $K_{соп}$ рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования $P_{мон}$ и расходов на демонтаж оборудования» [14], которое ранее было использовано при реализации базовой технологии $P_{дем}$. Расчёты ведутся по формуле

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

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования $K_{дем} = 0,05$. С учётом ранее заданной цены оборудования $Ц_{об.б} = 564300$ рублей расходы на демонтаж $P_{дем}$ составят:

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д} = 564300 \cdot 0,05 = 28200 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования $Ц_{об. пр.}$ с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается $K_{монт} = 0,05$:

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м} = 4200000 \cdot 0,05 = 210000 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов $K_{соп}$ согласно (21) составляет $K_{соп} = 28200 + 210000 = 238200$ рублей.

Расчётное значение «капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.}$ согласно (19) составляет $K_{общ. пр.} = 1764000 + 238200 = 2002200$ рублей. На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.} = 2002200$ рублей и капитальных затрат по базовой технологии» [14] $K_{общ. б.} = 564300$ рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты $K_{доп}$:

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб} = 2002200 - 564300 = 1437900 \text{ рублей}. \quad (24)$$

Удельные капитальные вложения $K_{уд}$ рассчитываются как отношение величины капитальных вложений $K_{общ}$ к годовой программе $\Pi_{Г}$ согласно формулы

$$K_{уд} = K_{общ} / \Pi_{Г} . \quad (25)$$

«Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 564300/3 = 188100$ руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 2002200/3 = 667400$ руб./ед.

4.6 Расчёт экономических показателей

Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений. Первым объективным показателем является снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$, которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта $t_{шт пр} = 157$ часов и штучного времени для базового варианта $t_{шт б} = 630$ часов» [14]:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (630 - 157) \cdot 100 \% / 630 = 75 \% . \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда $\Pi_{Г}$, рассчитываемая как

$$\Pi_{Г} = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 75 / (100 - 75) = 300 \% . \quad (27)$$

«Следующим объективным показателем является снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$, которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии $C_{тех.б} = 891823$ рублей и себестоимости по проектной технологии $C_{тех.пр.} = 554937$ рублей» [14]:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} = (891823 - 554937) \cdot 100\% / 891823 = 37\% \quad (28)$$

Для расчёта условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам $C_{\text{зав.б.}} = 1519555$ рублей и $C_{\text{тех.пр.}} = 711372$ рублей. Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_{\Gamma} = (1519555 - 711372) \cdot 3 = 2424549 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ рассчитывается для $K_{\text{доп}} = 1437900$ рублей и $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 2424549$ рублей по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 1437900 / 2424549 = 0,6 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат $E_{\text{н}} = 0,33$. С учётом дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}} = 1437900$ рублей и условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 2424549$ рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 2424549 - 0,33 \cdot 1437900 = 1950042 \text{ рублей.} \quad (31)$$

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 2,4 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 75 %, производительности труда повышается на 300 %. Технологическая себестоимость снижается на 37 %. Годовой экономический эффект оценивается в 1,95 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

Заключение

В представленной к защите выпускной квалификационной работе решаются задачи повышения эффективности возведения резервуаров для хранения авиационного топлива за счёт совершенствования технологии сварки. При сварке по базовому варианту значительное количество швов выполнялось с применением ручной дуговой сварки, которая характеризуется рядом недостатков. Для повышения эффективности работ при возведении резервуара предложено способ сварки заменить на более производительный. Также выполнен анализ методик возведения резервуаров, на основании которого обоснован выбор листового метода. Выполнение аналитического раздела позволило выполнить постановку задач. При решении первой задачи обоснован выбор способа сварки резервуара. Проведен анализ преимуществ и недостатков каждого рассмотренного способа сварки, оценена эффективность его применения по выбранным критериям и дано обоснование выбора способа. При решении второй задачи построена проектная технологии сборки и сварки резервуара. Сформулирован перечень технологических операций, составлены требования к выполнению каждой операции, назначены параметры режима и выбрано технологическое оборудование. При решении третьей задачи выполнена оценка промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. При решении четвертой задачи выполнено экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Оценены базовая и проектная технологии с точки зрения затрат на их осуществление и сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий. Годовой экономический эффект составляет около двух миллионов рублей.

Вышеизложенное позволяет судить о достижении поставленной цели и целесообразности рекомендаций по внедрению предлагаемых решений в производство.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Акулов А. И., Алехин В. П., Ермаков С. И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 2003. 560 с.
2. Банов М. Д., Казаков Ю. В., Козулин М. Г. Сварка и резка материалов : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.
3. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
4. Бут В. С., Олейник О. И. Развитие технологий ремонта дуговой сваркой магистральных трубопроводов в условиях эксплуатации // Автоматическая сварка. 2014. № 5. С. 42–50.
5. Ващенко И. П. Структура и свойства малоуглеродистых и низколегированных сталей // Вестник МГТУ. 2007. № 4. С. 558–560.
6. Верёвкин А. А. Повышение эффективности сварки в CO₂ неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Томский политехнический университет. 2010.
7. Горбачёв С. В. Повышение однородности структуры механических свойств сварных соединений из сталей 20 и 09Г2С в режиме сверхпластической деформации : диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. Уфа, 2005.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
9. Гулаков С. В., Носовский Б. И. К вопросу построения модели сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 2002. № 9. – С. 24–28.

10. Клепач А. Н. Социальный инновационный поворот Российской экономики: планы и реальность // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. № 1. С. 17-23.

11. 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.

12. Крампит А. Г. Разработка и исследование процесса сварки в CO₂ в щелевую разделку при импульсном питании : диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, Юрга: Томский политехнический университет. 2003.

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

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

15. Ларина Т. В., Кораблин И. И. Сущность и специфика профессиональной культуры будущих военных специалистов беспилотной авиации // Мир науки, культуры, образования. 2018. № 6. С. 67-69.

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

17. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

18. Пермяков М. Б., Чернышова Э. П., Кришан А. Л. Актуальные проблемы строительства: монография. Магнитогорск, 2013. 139 с.

19. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34-42.

20. РД 25.160.10-КТН-001-12 Инструкция по технологии сварки при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. 2011. 216 с.
21. РД 39-138-95. Нормы технологического проектирования резервуарных парков СУГ М. : Роснефть, 1995. 149 с.
22. Романюк В. С., Ковалев В. Д., Резник С. А. Высокопроизводительная сварка неповоротных стыков труб порошковой проволокой с принудительным формированием шва // Сварщик. 2001. № 2. С. 32–33.
23. Сафронов А. С., Ушаков А. И., Чечкенов И. В. Авиационные топлива: химмотография, эксплуатационные свойства. Ассортимент. СПб : НПИКЦ, 2002. 264 с.
24. Сидорец В. Н., Жерносеков А. М., Рымар С. В. Импульсно-дуговая сварка как основа современных технологий сварки плавящимся электродом // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 221–225.
25. Скворцов М. А. Развитие беспилотной авиации в Восточном военном округе // Военная мысль. 2020. № 11. С. 76-79.
26. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
27. Соломин Б. А., Низаметдинов А. М. Оперативное определение низкотемпературных свойств дизельных и авиационных топлив // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 6. С. 121–126.
28. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
29. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 8–11.
30. Шубин А. В., Кот И. В., Кузенкин А. А. Изменение концептуальных подходов к применению авиации в войнах будущего на примере карабахского конфликта // Военная мысль. 2021. № 9. С. 43-50.

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