

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 сварки вертикального стального резервуара для хранения нефтепродуктов объемом 5000 кубических метров

Обучающийся

Р.И. Хайруллин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассматривается технологический процесс сварки вертикального стального резервуара для хранения нефтепродуктов. В пояснительную записку входят введение, аналитический раздел, исполнительский раздел, два оценочных раздела, заключение и список литературы. Во введении выполнено обоснование актуальности выбранного направления исследования и сформулирована цель выпускной работы. В аналитическом разделе рассмотрена конструкция резервуара, особенности сварки его материала и операции базового процесса. Далее сформулированы недостатки базовой технологии и на основании литературного обзора сформулированы задачи для выполнения выпускной работы. В исполнительском разделе с учетом экспертной оценки преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки выполнено обоснование выбора способа сварки, после чего предложены мероприятия по расширению технологических возможностей применительно к рассматриваемой конструкции. Далее составлена проектная технология сварки резервуара. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса ремонтной сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований. Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендованы к внедрению на предприятиях, выполняющих возведение резервуаров.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы.	7
1.1 Описание конструкции резервуара	7
1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара	9
1.3 Особенности выполнения операций базовой технологии сварки резервуара.	11
1.4 Поиск и предварительный анализ источников научно- технической информации по вопросу повышения эффективности сварки при возведении резервуарного парка.	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	19
2 Проектная технология сварки при возведении резервуара.	20
2.1 Выбор методики возведения резервуара.	20
2.2 Обоснование выбора способа сварки при возведении резервуара	23
2.3 Оборудование для механизированной и автоматической сварки при возведении резервуара	27
2.4 Описание операций технологического процесса сварки резервуара.	29
3 Промышленная безопасность производственного участка.	37
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	37
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	39
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	41
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	43
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	45

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	47
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	47
4.2 Фонд времени работы оборудования.	49
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	50
4.4 Заводская себестоимость.	52
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	57
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	59
Заключение	61
Список используемой литературы и используемых источников.	62

.

Введение

Оперативное возведение резервуарного парка в настоящий момент является актуальной задачей по нескольким причинам. Во-первых, значительное количество резервуаров получило повреждения или выведено из строя в результате различного рода воздействий. Во-вторых, перенос производственных мощностей и запасов топлива на новые территории заставляет возводить значительное количество новых резервуаров для хранения топлива. Применение резервуарного парка позволяет значительно снизить перебои в поставке топлива, что, в конечном счете, оказывает положительный эффект на снижение его стоимости для конечного потребителя. При возведении резервуарного парка значительную роль играют сварочные технологии, именно с применением сварки происходит соединение элементов резервуара. В настоящее время «среди способов сварки, получивших распространение при строительстве резервуаров, одним из самых распространенных остается ручная дуговая сварка» [7], хотя нормативная документация особо отмечает, что ручные способы сварки должны при первой же возможности заменяться автоматическими и механизированными способами. Однако «ручная дуговая сварка характеризуется максимальной автономностью и универсальностью по сравнению с альтернативными способами сварки. Особенно при возведении резервуаров небольшого объема именно ручной дуговой сварке в настоящий момент отдают предпочтение. Характерной конструкцией, при строительстве которой применяется ручная дуговая сварка, является рассматриваемый в предстоящей выпускной квалификационной работе вертикальный стальной резервуар объемом 5 тысяч кубических метров. Применяемая при его возведении технология предусматривает использование ручной дуговой сварки» [8]. Недостатки которой в условиях современного производства и повышающихся требований к скорости и качеству возведения резервуаров, становятся критическими и

требуют применения других, более производительных и эффективных способов сварки.

Резервуары объемом пять тысяч кубических метров являются самыми используемыми резервуарами, так как позволяют сочетать высокую скорость возведения и значительные объемы хранения нефтепродуктов.

Как показывает практика эксплуатации резервуарного парка Российской Федерации, существенные экологические проблемы и потери продукта происходит по причине нарушения эксплуатации резервуаров и допущенных в ходе их строительства ошибок [4], [7], [22].

Повышение уровня автоматизации и механизации сварочных операций не только положительно скажется на производительности работ при возведении резервуарного парка, но и существенно повысит стабильность качества работ, позволит избавиться в дальнейшем от проблем с безопасностью эксплуатации резервуара.

На основании вышеизложенного выбранное направление исследования, предусматривающее проведение работ в области повышения сварочных процессов при возведении резервуарного парка, является актуальной и востребованной современным производством.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества сварки при строительстве вертикальных стальных резервуаров объемом пять тысяч кубических метров.

Поставленная цель должна достигаться «обоснованным выбором способа сварки и методики возведения резервуара на основании анализа источников научно-технической информации» [3]. Кроме того, повышение эффективности сварочных процессов и расширение их технологических возможностей должно быть достигнуто за счёт применения достижений современной науки и технологий в области управления сварочными процессами.

1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы

1.1 Описание конструкции резервуара

На рисунке 1 представлен вертикальный стальной резервуар, сварка которого рассматривается в настоящей выпускной квалификационной работе. Такой резервуар может быть использован для приема, хранения и выдачи товарной нефти и нефтепродуктов. Такие резервуары возводят как в пределах нефтяных месторождений, так и в пределах нефтеперерабатывающих и топливных предприятий. Данные резервуары будут эффективны при запуске в разработку разведанных месторождений нефти. Рассматриваемый резервуар относится к первому (повышенному) уровню ответственности. Поимо самой объемной конструкции, выполняемой из металлических листов, в состав резервуара входят вспомогательные металлические конструкции и оборудование (трубопровод, арматура, регулирующая аппаратура, система безопасности и т.д.). Комплектация резервуара представлена на рисунке 2.



Рисунок 1 – Резервуар объемом пять тысяч кубическим метров

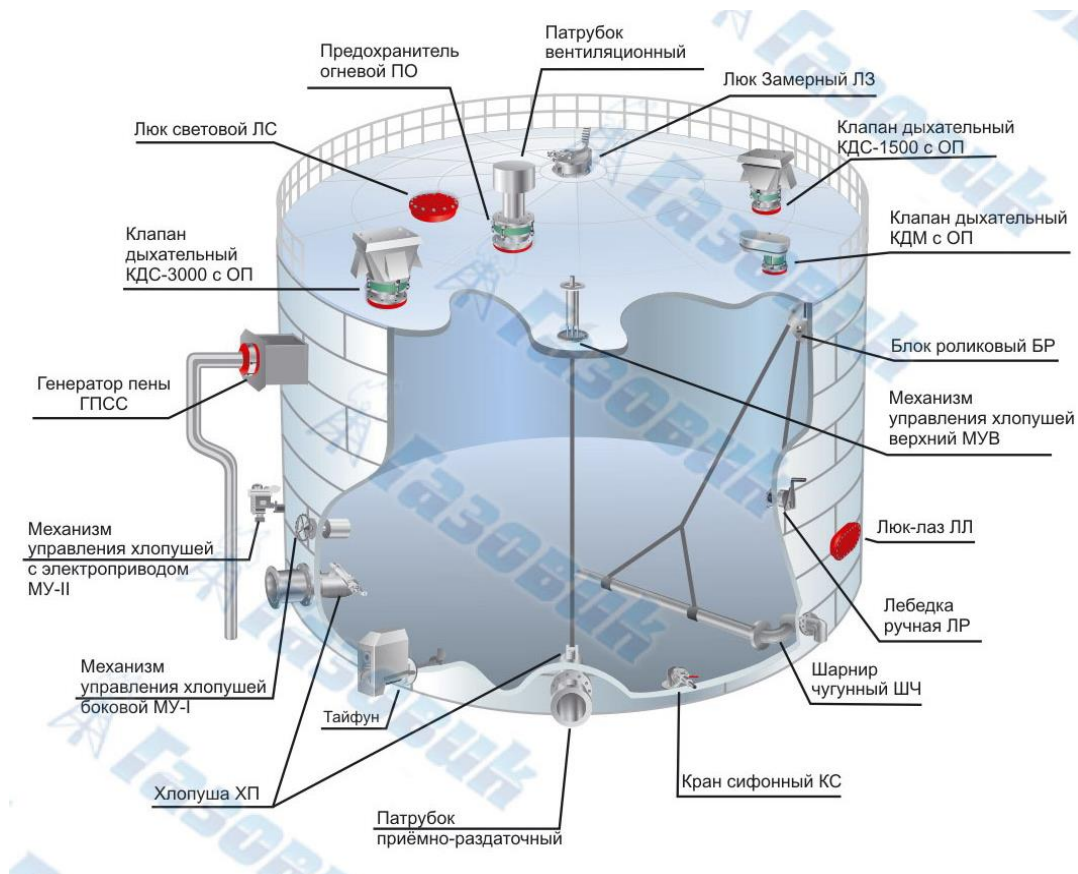


Рисунок 2 – Комплектация рассматриваемого резервуара объемом пять тысяч кубических метра

Оборудование резервуара и особенности его конструкции позволяют эффективно выполнять перекачку нефтепродуктов и «товарной нефти по трубопроводу по схеме нефтепровод-резервуар, при которой резервуар выступает в качестве приемника и хранилища продукта; перекачку нефти по схеме нефтепровод-нефтепровод при которой оборудование резервуара» [19] выступает в роли передатчика продукта; наполнение и освобождение резервуара без использования нефтепровода, что позволяет работать резервуару в автономных условиях.

Рассматриваемый резервуар имеет восемь поясов, для изготовления которых применяется стальной лист различной толщины. Нижние пояса выполнены из листа толщиной 10 мм. верхние пояса выполнены из листа толщиной 7 мм. Окрайки выполнены из листа толщиной 8 мм. Масса резервуара в сборе составляет 123 тонны.

1.2 Сведения о материале для изготовления резервуара

Стенки, днище и крышка резервуара изготовлены из низколегированной конструкционной стали 09Г2С, состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 09Г2С [23], [24]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,12	0,5...0,8	1,3...1,7	до 0,3	до 0,04	до 0,035	0,3	до 0,008	до 0,3	до 0,008

Рассматриваемая сталь может быть использована для строительства ответственных металлических конструкций, работа которых происходит при температурах от -40 до +475 °С. В ходе эксплуатации таких конструкций допускается длительное действие на них повышенных давлений, что позволяет применять рассматриваемую сталь для трубопроводов горячей воды и пара. Химический состав стали 09Г2С выгодно отличает её от низкоуглеродистой стали, давая преимущества по прочности и коррозионной стойкости, однако, по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей сварка стали 09Г2С приобретает ряд особенностей. Во-первых, под действием термического цикла в процессе сварки происходит образование некоторого количества мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. При благоприятном термическом цикле эти структурные составляющие равномерно распределены по объему и не оказывают существенного влияния на эксплуатационные характеристики изделия. Но при повышенных значениях погонной энергии сварки в зоне сварного шва могут образовываться участки с повышенным содержанием закалочных структур, что особенно сильно проявляется вблизи концентраторов напряжений. Это объясняется отрицательным действием содержащихся в металле элементов углерода и кремния, содержание которых по сравнению с низкоуглеродистой сталью в рассматриваемой стали выше. Также при сварке стали с применением стандартных сварочных материалов в зоне сварного шва может наблюдаться коррозионное растрескивание, что может быть устранено путем применения специализированных сварочных

«материалов с пониженным содержанием кремния и углерода. При выполнении сварных конструкций из рассматриваемой стали особое внимание следует уделить соблюдению техники сварки, от которой зависит термический цикл металла и свойства сварного соединения» [23].

Особенно при сварке конструкций значительных толщин из стали 09Г2С могут образовываться трещины, для предотвращения которых необходимо применять предварительный подогрев, который на крупногабаритных конструкциях ведут с применением газового пламени. Для предотвращения потери легирующих элементов на угар и разбрызгивание сварку необходимо вести короткой дугой, длина которой составляет приблизительно один диаметр электрода, без поперечных колебаний, запрещается выводить кратеры на основной металл и прекращать сварку до полного выполнения шва, стыковые соединения предпочтительны перед нахлесточными и тавровыми соединениями. При выполнении сварки не разрешается зажигать и гасить дугу на основном металле стенки. Для зажигания дуги следует использовать кромки деталей или наплавленный металл. Кратер должен быть тщательно заплавлен, необходимо убедиться в отсутствии кратерной трещины.

Применение импульсного управления сварочной дугой, разработки в области которой ведутся производителями сварочного оборудования, при сварке конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей позволяет улучшить условия формирования сварного шва, более полно провести выделение растворившихся в расплавленном металле сварочной ванны газов и получить структуру металла сварного шва с меньшим размером кристаллитов, что способствует уменьшению остаточных напряжений и позволяет успешно бороться с образованием трещин при сварке.

Таким образом, применение алгоритмов управления сваркой, реализующих импульсное горение сварочной дуги и переноса электродного металла, позволяют нивелировать отрицательное влияние особенностей сварки рассматриваемой стали по сравнению с низкоуглеродистыми сталями.

1.3 Особенности выполнения операций базовой технологии сварки резервуара

При сборке и сварке рассматриваемого резервуара согласно базовой технологии применяется полистовой метод. «Подъем листов выполняется с применением крана LIEBHERR LTR 1100 грузоподъемностью сто тонн на гусеничном ходу. Дополнительно для сборки применяется кран на автомобильной платформе грузоподъемностью 25 тонн» [19].

При сборке и сварке резервуара предварительно готовят его основание и выполняют разметку центра. «Далее укладывают окрайки. Так как диаметр рассматриваемого резервуара составляет 35 метров, то при сварке будет наблюдаться незначительная усадка, величиной которой при укладке окраек можно пренебречь. Далее с применением монтажного приспособления – гребенки выполняют сборку стыков окраек днища. Собираемое кольцо окраек должно быть горизонтальным, не иметь изломов, прогибов и выпуклостей, должна соблюдаться проектная величина зазоров в стыках» [19].

«После сборки кольца окраек выполняют сварку радиальных стыков, которую выполняют в месте предполагаемого опирания стенки резервуара, сварной шов имеет длину 200...250 мм. После сварки следует провести визуальный и рентгеновский контроль качества полученного сварного шва. Далее размечают кольцо окраек, обозначая положение стенки резервуара с учётом последующей усадки в ходе выполнения уторного шва» [19].

«После этого укладывают листы центральной части днища, которую следует выполнять полосами. Первая полоса укладывается в центре резервуара, потом укладываются полосы ближе к краям. При размещении листов каждой полосы сначала следует уложить средний лист, потом крайние листы. При сборе листов применяют прихватки, сборку ведут с использованием клиньев и гребенок, сборка листов выполняется с учётом последующей усадки в ходе выполнения сварки, для этого крайние листы имеют длину на 20...30 мм, обеспечивая нахлест. Сварка центральной части

днища выполняется после того, как были уложены и прихвачены все листы днища резервуара» [19].

«После того, как было сварено днище резервуара, начинают монтаж стенки резервуара. При укладывании листов каждого пояса последний его лист обрезают по месту. Правильность разделки кромок листов и радиусгиба проверяется перед укладкой каждого листа. Среди поясов резервуара самым ответственным является первый пояс, на который приходится основная нагрузка в ходе эксплуатации резервуара, поэтому следует уделять особое внимание качеству выполнения сварки первого пояса. Сварку вертикальных стыков первого пояса выполняют на высоту от окрайки 150...250 мм. После монтажа листов первого пояса и частичной заварки вертикальных стыков проводят сварку уторного шва, для чего привлекается два сварщика. Эти сварщики ведут одновременную сварку в одном направлении, находясь с противоположных сторон» [19].

После того, как был сварен уторный шов, выполняют окончательную заварку стыков кольца окрайки.

«Далее проводят сварку стыков крайних листов. Сварка выполняется на длину больше нахлеста центральной части днища на окрайку на величину 150...200 мм. после этого проводят сварку кольцевого шва, выполняя нахлесточное соединение центральной части днища и окрайки, для чего привлекается два сварщика, ведущих сварку одновременно в одном направлении с разных сторон кольца окрайки.

После сварки кольцевого нахлесточного шва выполняют доварку оставшейся части стыков крайних листов в центральной части днища.

Далее проводят монтаж оставшихся семи поясов резервуара. С применением монтажных приспособлений листы следующего пояса закрепляют на предыдущем поясе. После этого доваривают вертикальные стыки предыдущего пояса. Далее монтируют листы следующего пояса и сваривают вертикальные стыки предыдущего пояса. После этого сваривают находящийся между поясами горизонтальный сварной шов.

Таким образом, горизонтальный шов выполняется после сварки вертикальных швов прилегающих к нему поясов. Представленная последовательность монтажа и сварки листов поясов резервуара позволяет уменьшить остаточные напряжения и деформации.

Сварка ведется с применением установки УСТ-22 на гусеничном ходу (трактор ДТ-75). Механизированная сварка ведется полуавтоматом ПДГ-508 проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа применяется чистый углекислый газ. Также в процессе реализации базовой технологии применяется ручная дуговая сварка, которую ведут электродами УОНИ 13/55 диаметром 3 мм и диаметром 4 мм» [19].

Ручная дуговая сварка проходит на следующих параметрах режима. При использовании электродов диаметром 3 мм принимается сила сварочного тока 90...120 ампер. При использовании электродов диаметром 4 мм принимается сила сварочного тока 130...170 ампер. Ручная дуговая сварка применяется при выполнении прихваток и коротких сварных швов.

При выполнении длинных сварных швов применяется механизированная сварка в углекислом газе, при которой параметры режима зависят от положения шва в пространстве и выполняемого слоя. Во всех случаях вылет сварочной проволоки принимается 10...15 мм. При сварке в нижнем положении сила сварочного тока принимается для корневого слоя шва 140...210 ампер, для заполняющих слоев сила сварочного тока принимается 180...320 ампер, для облицовочного слоя сила сварочного тока устанавливается 140...180 ампер. При сварке в вертикальном положении сила сварочного тока принимается для корневого слоя шва 140...180 ампер, для заполняющих слоев сила сварочного тока принимается 160...220 ампер, для облицовочного слоя сила сварочного тока устанавливается 140...160 ампер. Для горизонтального положения сила сварочного тока принимается для корневого слоя шва 160...180 ампер, для заполняющих слоев сила сварочного тока принимается 240...300 ампер, для облицовочного слоя сила сварочного тока устанавливается 160...220 ампер.

При выполнении сварных швов обязательно проведение предварительного прогрева кромок «на ширину 50 мм в обе стороны от линии сварного шва. Прогрев проводится до температуры 40...50 °С. При выполнении многопроходной сварки следует поддерживать межслойную температуру не ниже 50 °С. Если такую температуру поддерживать не удастся, следует проводить сопутствующий подогрев» [19].

Таким образом, применяемые по базовой технологии сварочные технологии предусматривают применение ручной дуговой сварки и механизированной сварки в углекислом газе. Основная масса недостатков базовой технологии кроется в применяемой ручной дуговой сварке. Во-первых, данный способ сварки не позволяет повысить производительность сварочных работ, так как в настоящее время признано, что резерв повышения эффективности ручной дуговой сварки за счёт оптимизации техники сварки и параметров режима полностью исчерпан. Во-вторых, при ручной дуговой сварке квалификация сварщика оказывает решающее влияние на качество выполняемого сварного соединения, что заставляет предприятие испытывать постоянную нехватку квалифицированных кадров. В-третьих, ручная дуговая сварка характеризуется вредными условиями труда, что заставляет предприятие нести существенные расходы на обеспечение безопасности труда. В-четвертых, для обеспечения высокого качества сварного шва при ручной дуговой сварке требуется применение дорогостоящих электродов. Также следует принимать во внимание, что качество и производительность ручной дуговой сварки ухудшаются по причине постоянного прерывания процесса сварки на замену сварочных электродов. Таким образом, применение ручной дуговой сварки оказывает подавляющее воздействие на экономические показатели предприятия. Механизированная сварка в углекислом газе также имеет свои недостатки и трудности, которые предстоит решить при построении проектной технологии. Такими затруднениями является существенное разбрызгивание электродного металла высокая опасность образования трещин.

1.4 Поиск и предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки при возведении резервуарного парка

«Для составления проектной технологии сварки при возведении рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе резервуара необходимо выполнить анализ известных решений по повышению эффективности сварочных технологий. Для этого проведем поиск источников научно-технической информации в сети ИНТЕРНЕТ. Поиск будем вести в базах знаний. Первой базой знаний является Диссеркэт, в которой содержится значительное количество диссертаций и авторефератов диссертаций по техническим и экономическим наукам» [15]. В ходе анализа диссертаций удастся не только обосновать актуальность выбранного направления исследований и познакомиться с современными тенденциями развития сварочного производства в рассматриваемой области, но и составить внушительный список литературы, что позволяет обосновать предлагаемые в выпускной квалификационной работе решения. Второй базой знаний является «ПатонПАБЛИШ, в которой содержится значительное количество статей по сварочной тематике, подготовленных украинскими исследователями-сварщиками. Третьей базой является «Е-лайбрери», в которой имеется значительное количество публикаций по техническим наукам, в том числе патентная информация, монографии и другие виды источников научно-технической информации. Четвертой базой является «Киберленинка», в которой содержатся научные статьи по технической и экономической тематике» [15].

Таким образом, поиск и анализ источников научно-технической информации позволяет сформулировать задачи выпускной квалификационной работы и обеспечить высокий уровень их решения с применением самых современных достижений в области организации сварочного производства и управления сварочными процессами.

В первой работе [6] установлено, что характер переноса электродного металла при ручной дуговой сварке не зависит от диаметра применяемого электрода. Формируемые потоки с варочной ванне и столбе сварочной дуги также не зависят от диаметра сварочного электрода. На тепловой баланс при сварке оказывает существенное влияние тип переноса электродного металла. Так, при крупнокапельном переносе возникают значительные силы поверхностного натяжения, на преодоление которых будет расходоваться энергия сварочной дуги. В тоже время при струйном переносе роль влияния сил поверхностного натяжения снижается, что повышает эффективный КПД сварки. Кроме того, струйный перенос электродного металла обеспечивает интенсивное перемешивание металла сварочной ванны и увеличение глубины провара. Значительная роль в тепловом балансе отводится соотношению интенсивности поверхностного теплового потока и глубинного теплового потока, которые формируются при встрече столба дуги с поверхностью ванны.

Данная работа расширяет «возможности ручной дуговой сварки покрытыми электродами и будет использована при обосновании выбора способа сварки при построении проектной технологии сварки рассматриваемого резервуара» [6].

Во второй работе [26] установлено, что при массовой доле минеральных составляющих в шихте сварочной проволоки до 2 % на стабильность горения дуги и переноса электродного металла существенное влияние оказывает состав применяемого при сварке защитного газа. Значительного улучшения параметров процесса удастся достигнуть при переходе от чистого углекислого газа к смеси аргона + углекислый газ в соотношении 8 к 2. При выборе состава порошковых проволок следует принимать во внимание, что наличие в шихте фторидов приводит к снижению стабильности горения дуги и переноса электродного металла, что приводит к переходу от струйного процесса к крупнокапельному. Стабилизации процесса сварки можно достигнуть при применении таких компонентов, как рутил и нелетучие фториды.

«Данная работа показывает возможность расширения технологических возможностей механизированной сварки порошковой проволокой в защитных газах и будет использована для обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии» [26].

В третьей работе [8] описаны результаты исследований в области повышения эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением процессом переноса электродного металла. В результате повышается стабильность горения дуги и формирования сварного шва. Также следует ожидать улучшения условий формирования обратного валика при выполнении протяженных сварных швов с односторонним подходом.

Результаты данной работы показывают широкие возможности «сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и будут использованы для обоснования выбора способа сварки рассматриваемого резервуара» [8].

В четвертой работе [11] «рассматривалась возможность повышения эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения за счёт организации импульсной подачи проволоки, что позволяет улучшить условия формирования сварного соединения и повысить качество сварного шва. Данная работа показывает высокий потенциал механизированной и автоматической сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения при условии применения импульсного управления подачей проволоки.

Работа будет применена для обоснования выбора способа сварки» [11].

В пятой работе [21] «предложены технические решения, позволяющие повысить эффективность сварки самозащитной порошковой проволокой» [21]. Представлены положительные результаты внедрения предлагаемой технологии при выполнении сварки стыков трубопровода. Сварные соединения обладают необходимыми механическими свойствами и имеют уменьшенный по сравнению с базовым вариантом уровень дефектности.

Данная «работа показывает высокую эффективность сварки порошковой проволокой и будет использована при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии» [21].

На основании проведенного анализа источников научно-технической информации и знаний, которые были получены в ходе обучения на кафедре сварки, а также «на основании анализа действующей нормативной документации по сварке стальных резервуаров для построения проектной технологии возведения резервуарного парка предлагается рассмотреть следующие способы сварки. Первым способом является ручная дуговая сварка, которая получила наиболее широкое применение при изготовлении металлических конструкций и не требует значительных капитальных затрат для внедрения и модернизации. Вторым способом является сварка под флюсом, которая позволяет получать сварные швы высокого качества при максимально возможной производительности. Третьим способом является сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения. Четвертым способом является сварка порошковой проволокой, применение которой существенно повышает универсальность по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения» [13].

Преимущества и недостатки рассматриваемых способов сварки будут проанализированы в ходе исполнительского раздела выпускной квалификационной работы.

Помимо этого, для построения проектной технологии и адекватного выбора способа сварки следует рассмотреть различные методики возведения резервуарного парка.

Далее на основании выбора способа сварки и анализа источников научно-технической информации следует рассмотреть вопрос повышения эффективности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемым условиям сварки стального резервуара и методике его возведения.

Этим вопросам будет посвящен исполнительский раздел работы.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, связанных с повышением эффективности сварочных операций при возведении резервуарного парка на нефтеперерабатывающих предприятиях Российской Федерации. В ходе работы над введением выполнено обоснование актуальности выбранного направления исследования и формулировка цели выпускной квалификационной работы.

В ходе анализа базовой технологии были сформулированы недостатки, устранение которых позволит поставленную цель достигнуть. Для этого необходимо правильно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, последовательное решение которых обеспечит выполнение работы и достижение поставленной цели. Первой задачей является анализ методик возведения стальных резервуаров, от выбора конкретной методики зависит дальнейшее обоснование выбора способа сварки и особенности выполнения операций проектного технологического процесса. Второй задачей является обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии и повышение его эффективности применительно к случаю сварки рассматриваемого стального резервуара. Третьей задачей является построение технологического процесса сборки и сварки резервуара, который предусматривает перечень технологических операций, выбор оборудования, назначение параметров режима и формулировку требований к выполнению каждой операции. Далее на основании результатов, полученных в ходе исполнительского раздела, следует выполнить два оценочных раздела. В ходе первого оценочного раздела предстоит рассмотреть вопросы обеспечения безопасности труда и экологической безопасности при возведении резервуарного парка согласно предлагаемой технологии [9], [10]. Во втором оценочном разделе предстоит выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений с оценкой эффективности их внедрения на производстве [2], [5], [15].

2 Проектная технология сварки при возведении резервуара

2.1 Выбор методики возведения резервуара

При возведении резервуарного парка могут быть применены три методики, реализуемые с применением современного оборудования. Выбор методики определяется квалификацией исполнителя работ и имеющейся у него в наличии техники.

В качестве «первого метода возведения резервуаров, который получил широкое распространение вследствие своей относительной простоты и низких требований к возможностям исполнителя, можно указать полистовой метод» [19] или «метод наращивания», представленный на рисунке 3.

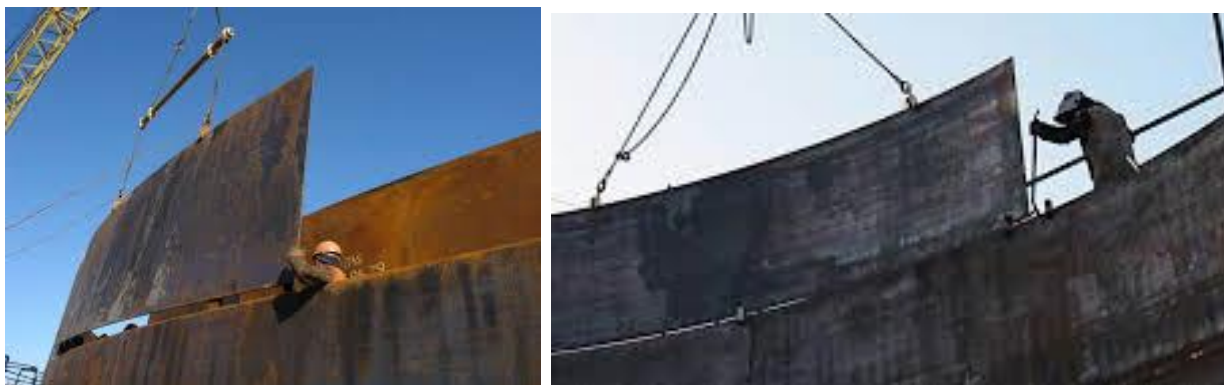


Рисунок 3 – Полистовой метод возведения резервуара

Данный метод предполагает постепенное наращивание поясов снизу-вверх при установке отдельно каждого листа и его приварке с применением дуговых способов сварки. До установки на резервуар каждый лист должен быть изогнут по требуемому радиусу, на нем должны быть выполнены кромки. Метод наращивания представляется самым простым с точки зрения исполнения и не требует значительных капитальных затрат. Также следует указать на простоту доставки листов к месту возведения резервуара,. Ещё одним преимуществом рассматриваемой методики является малая площадь сборочного участка, что позволяет выполнять возведение дополнительных

резервуаров на уже эксплуатируемом объекте. Именно с применением полистовой сборки возводятся резервуары после пожаров, когда остальные резервуар не были затронуты огнем. Ещё одним преимуществом полистового метода является то, что при его реализации нет необходимости применять краны повышенной грузоподъемности, в условиях ухода с российского рынка производителей спецтехники это становится актуальным. Кроме того, возведение резервуарного парка на территории с логистическими трудностями также требует применения именно полистового метода.

Полистовый метод имеет ряд недостатков, из-за наличия которых по возможности от него следует отказываться в пользу более перспективных методов. Во-первых, следует указать на значительный объем сварочных работ, которые проводятся не в заводских условиях, а уже при монтаже резервуара. Это отрицательно сказывается на сроках возведения резервуара и качестве выполняемых швов. Так как сварка выполняется на высоте, соизмеримой с высотой резервуара, это существенно усложняет технологию и повышает опасность проведения работ.

«Вторым методом возведения резервуаров является метод подрачивания, который представлен на рисунке 4. В ходе его реализации первоначально сваривают днище резервуара, после чего сваривают верхний пояс и крышу» [19]. Далее при помощи подъемных механизмов всю конструкцию перемещают вверх на высоту одного пояса, после чего выполняют монтаж и сварку пояса.

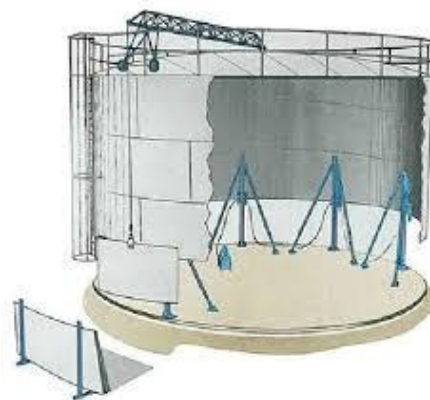


Рисунок 4 – Возведение резервуара методом подрачивания

При такой методике возведения большая часть сварных швов выполняется на уровне земли, что существенно облегчает условия работы и проверку качества сварных швов. Также значительная часть сварных швов выполняется в условиях защиты от осадков, что позволяет повысить их качество и производительность работ. Вместо кранов применяется система гидравлически домкратов, что существенно снижает стоимость и сложность применяемого оборудования. Недостатком такой методики является низкая производительность работы домкратов по сравнению с работой подъемного крана.

«Третьим методом возведения резервуаров является метод рулонирования, реализация которого представлена на рисунке 5. В ходе реализации этого метода на заводе-изготовителе подготавливается полотно стенки и днища резервуара, сворачиваются в рулон и доставляются к месту возведения резервуара. На строительной площадке разворачивают рулон днища, на него устанавливается и разворачивается рулон стенки. Далее выполняется сварка монтажных швов» [19]. Таким образом, «значительная часть сварных соединений выполнена в заводских условиях наиболее производительными способами, например, автоматической сваркой под флюсом, что положительно сказывается на производительности и качестве работ» [19].

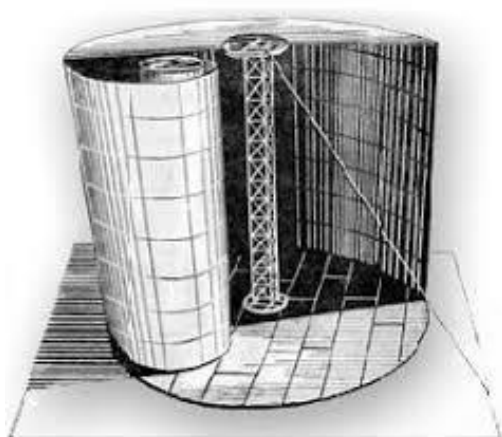


Рисунок 5 – Возведение резервуара методом рулонирования

Недостатком рассматриваемого метода является необходимость разрешения логистических сложностей, связанных с доставкой и установкой тяжеловесного и габаритного рулона стенки. Кроме того, при строительстве резервуара на действующем предприятии затруднительным может представляться перемещение рулона через строения и технологические установки. Также следует принимать во внимание высокие требования к заводу-изготовителю – в большинстве случаев в производителя работ может не оказаться оборудования для сварки и сворачивания стальных рулонов, а также техники, способной доставить конструкцию на место возведения резервуара.

Исходя из анализа преимуществ и недостатков рассматриваемых методов возведения, а также технических возможностей конкретного исполнителя работ для возведения рассматриваемого резервуара предлагается применить полистовой метод.

2.2 Обоснование выбора способа сварки при возведении резервуара

При возведении резервуаров могут быть применены различные способы сварки, предпочтение при выборе которых следует отдавать на основании технологических возможностей исполнителя работ и требований заказчика [12]. «Применение ручной дуговой сварки обусловлено рядом преимуществ, главным из которых является относительная простота и дешевизна реализации. Выполнение операций технологического процесса, построенного на основе ручной дуговой сварки» [13], не требует приобретения дорогостоящего оборудования и переобучения персонала. Высокая универсальность ручной дуговой сварки позволяет применять её в монтажных условиях. Наряду с преимуществами, рассматриваемый способ характеризуется рядом недостатков, которые в современных условиях могут быть признаны критическими [16]. В числе недостатков ручной дуговой сварки следует указать тяжелые условия труда сварщика, которому

приходится работать во вредных сварочных аэрозолях и подвергаться излучению сварочной дуги. Также следует указать на низкую стабильность качества сварных соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Также ручная дуговая сварка может быть признана экономически малоэффективной из-за потери металла на разбрызгивание и электродные огарки, а также по причине низкой производительности.

Следующим способом, применение которого следует рассмотреть для построения проектной технологии возведения резервуара, «является сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения. В ходе выполнения этого способа сварки расплавленный металл сварочной ванны характеризуется большей, по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой под флюсом вязкостью. В результате этого упрощается стабилизация положения сварочной ванны при различной пространственной ориентации, становится возможной сварка в потолочном положении. Так как при механизированной сварке отсутствует необходимость замены электрода» [17] и очистки поверхности шва от шлака, производительность и качество сварки повышается. Также следует указать на улучшение условия труда сварщика при механизированной сварке в защитных газах, так как состав сварочного аэрозоля в этом случае менее вреден, чем при ручной дуговой сварке. Недостатками способа являются повышенное разбрызгивание электродного металла, что делает необходимым трудоемкую зачистку поверхности деталей, так как прилипшие брызги расплавленного металла ухудшают внешний вид и становятся очагами коррозии. «Также при сварке в защитных газах из-за повышенной вязкости расплавленного металла увеличивается вероятность появления в сварном шве трещин, ухудшаются условия отхождения из сварочной ванны газов, что становится причиной повышенной пористости» [17]. Сварка в защитных газах не позволяет получить высокое качество корневого слоя шва по выше

означенным причинам и может быть применена в комбинированной сварке, когда корневой слой выполняется с применением другого способа сварки [17].

Применение сварки самозащитной проволокой позволяет повысить универсальность процесса по сравнению со сваркой в защитных газах. При использовании порошковой проволоки упрощается легирование сварного шва, так как состав порошкового наполнителя проволоки может быть изменен в широком диапазоне без изменения технологии производства проволоки, что существенно снижает стоимость сварочных материалов при массовом их производстве. В числе недостатков сварки самозащитными проволоками следует указать повышенную мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлака и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений [18], [20], [25].

Из рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе способов сварки самой высокой производительностью обладает автоматическая сварка под флюсом. Помимо высокой производительности для этого способа сварки следует признать существенное улучшение условий труда, так как сварочная дуга горит под слоем флюса, что частично решает проблему вредного излучения и сварочного аэрозоля. Кроме того, сварка под флюсом позволяет получать соединения стабильно высокого качества. Однако, несмотря на перечисленные преимущества, рассматриваемый способ сварки имеет ряд недостатков, ограничивающих его применение при сварке резервуаров. Первым недостатком является повышение требований к сборке стыка, так как расплавленный металл и шлак при сварке под флюсом обладают повышенной текучестью, в результате чего возможно затекание металла в

зазор между деталями. Кроме того, при сварке под флюсом повышается опасность образования напоров, пор и шлаковых включений. Также следует принимать во внимание сложность удержания флюса на поверхности стенки.

На основании технологических критериев [1], [13], [14] может быть выполнена экспертная оценка рассматриваемых способов. По производительности ручная дуговая сварка получает 1 экспертный балл, сварка в защитных газах получает 3 экспертных балла, сварка самозащитной проволокой получает 2 экспертных балла, а сварка под флюсом получает 4 экспертных балла.

По маневренности сварки самая высокая оценка выставлена ручной дуговой сварке – 4 экспертных балла, сварка в защитных газах получает 2 экспертных балла, сварка самозащитной проволокой – 3 экспертных балла, сварка под флюсом – 1 экспертный балл. По условиям труда и безопасности сварщика самый низкий балл получает ручная дуговая сварка, сварка в защитных газах получает 3 экспертных балла, сварка самозащитной проволокой получает 2 экспертных балла, сварка под флюсом получает самый высокий экспертный балл. По качеству сварки ручная дуговая сварка получает самый низкий экспертный балл, сварка в защитных газах – 3 экспертных балла, сварка самозащитной проволокой – 2 экспертных балла, сварка под флюсом получает 4 экспертных балла. По стоимости оборудования самый высокий балл получает ручная дуговая сварка, сварка в защитных газах получает 2 балла, сварка самозащитной проволокой – 3 экспертных балла, сварка под флюсом получает самый низкий балл. По стоимости сварочных материалов ручная дуговая сварка получает 2 экспертных балла, сварка в защитных газах получает 4 балла, сварка самозащитной проволокой получает 1 экспертный балл, сварка под флюсом получает 3 экспертных балла.

Таким образом, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения получила самую высокую суммарную оценку – 17 баллов и рекомендуется для построения проектной технологии возведения резервуара.

2.3 Оборудование для механизированной и автоматической сварки при возведении резервуара

Для автоматической и механизированной сварки согласно проектной технологии предлагается применить оборудование производства концерна ESAB. Для автоматической сварки продольных швов предлагается применить представленный на рисунке 6 сварочный трактор RailTrack B42V. Конструкций данного сварочного трактора позволяет выполнять перемещения по программируемой траектории, возможна сварка как вертикальных, так и горизонтальных швов. Снижение веса устройства обеспечивается применением алюминиевых сплавов для его элементов. Для выполнения протяженных швов предлагается применить представленный на рисунке 7 сварочный комплекс RailTrack 1000 производства концерна ESAB.



Рисунок 6 – Сварочный трактор RailTrack B42V



Рисунок 7 – Сварочный комплекс RailTrack 1000

С применением магнитов и присосок алюминиевые рельсы комплекса крепятся на стенке резервуара и позволяют задавать траекторию движения сварочного трактора. При сварке могут быть применены как проволоки сплошного сечения, так и порошковые проволоки.

Для питания сварочной дуги применяется представленный на рисунке 8 источник постоянного тока Aristo Mig 4004i Pulse. Данный источник за счёт инверторного управления позволяет реализовать алгоритмы импульсного управления сварочной дугой и переносом электродного металла, повышающие эффективность сварки и качество соединения. Прогрессивная система водяного охлаждения позволяет уменьшить массу и габариты источника и выполнять сварку на форсированных режимах в течение длительного времени без риска перегрева.



Рисунок 8 – Сварочный источник питания Aristo Mig 4004i Pulse и механизм подачи проволоки Aristo Feed 3004

Подачу проволоки предлагается выполнять с применением представленного на рисунке 8 механизма Aristo Feed 3004, предназначенного для промышленных условий и имеющего ударопрочный корпус. Данный механизм характеризуется высокой стабильностью скорости подачи сварочной проволоки диаметром до 1,6 мм.

2.4 Описание операций технологического процесса сварки резервуара

Выполнение операций проектного технологического процесса предусмотрено в строгом соответствии с действующей нормативной документацией, регламентирующей проведение сварочных работ при возведении резервуарного парка [19]. Далее представим укрупненно весь процесс сварки резервуара с применением предлагаемых технологических решений.

«Первоначально выкладывают и приваривают не по всей длине окрайки днища. Прихватку и сварку проводят с применением механизированной сварки. После этого выполняют вторую операцию: на подготовленной площадке укладывают листы центральной части днища, для прихватки которых используется механизированная, а для сварки автоматическая сварка в защитном газе проволокой сплошного сечения с применением описанного выше оборудования. На третьей операции монтируют листы первого пояса на окрайках днища, выполняют частичную сварку вертикальных швов с применением механизированного способа. Далее выполняют четвертую операцию: выполняют сварку уторного шва, который представляет собой соединение стенки и днища резервуара. На четвертой операции На пятой операции доваривают незавершенные участки шва на днище резервуара. В процессе шестой операции монтируют листы второго пояса и доваривают вертикальные швы на первом поясе резервуара. На седьмой операции монтируют листы третьего пояса, доваривают вертикальные швы второго пояса. На восьмой операции выполняют горизонтальный шов между первым и вторым поясами с применением автоматической сварки.» [19] В процессе установки последующих поясов следует повторить применительно к ним операции номер шесть и номер восемь. Так как горизонтальный шов между предыдущими поясами выполняется после монтажа следующих поясов, уровень остаточных напряжений в конструкции и её коробление минимальны.

Перед выполнением сборки листов следует провести очистку их поверхности по собираемым краям на ширину 20 мм с обеих сторон листа. На один из листов крайки приваривают «подкладную пластину, сборку стыка выполняют с зазором 4...8 мм на прихватках, после выполнения которых следует зачистить поверхность металла от брызг и визуально убедиться в качестве сварки. При сборке смещение кромок не должно превышать 0,6 мм. Расстояние между прихватками составляет 300 мм при длине каждой прихватки 50 мм» [19]. На рисунке 9 представлен эскиз выполнения этой операции. Сварку ведут в два слоя. Схема выполнения сборки и сварки листов окраек представлена на рисунке 10.

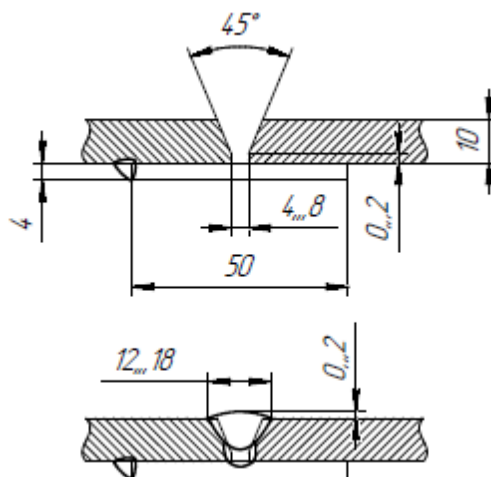


Рисунок 9 – Операция укладки и частичной сварки радиальных стыков окраек

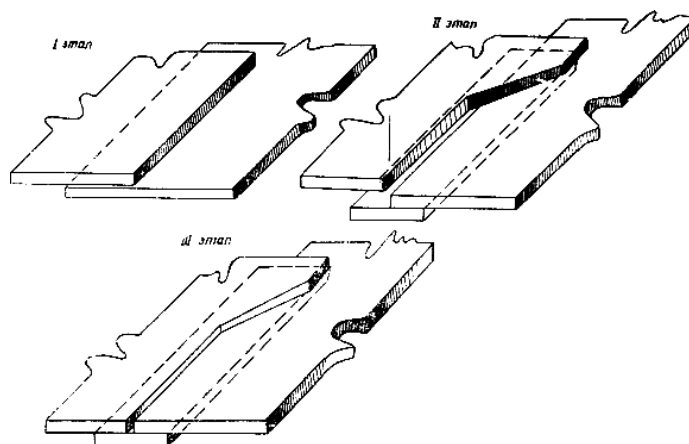


Рисунок 10 – Схема сборки листов окраек

Листы центральной части днища укладывают внахлест, как это показано на рисунке 11. Первая полоса укладывается в центре резервуара, потом «укладываются полосы ближе к краям. При размещении листов каждой полосы сначала следует уложить средний лист, потом крайние листы. При сборе листов применяют прихватки, сборку ведут с использованием клиньев и гребенок, сборка листов выполняется» [19] с учётом последующей усадки в ходе выполнения сварки, для этого крайние листы имеют длину на 20...30 мм, обеспечивая нахлест. Сварка центральной части днища выполняется после того, как были уложены и прихвачены все листы днища резервуара. Схема сборки днища представлена на рисунке 12.

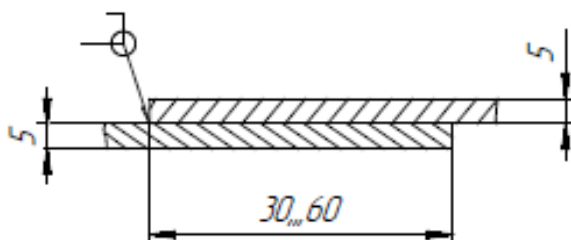


Рисунок 11 – Укладывание внахлест листов центральной части днища

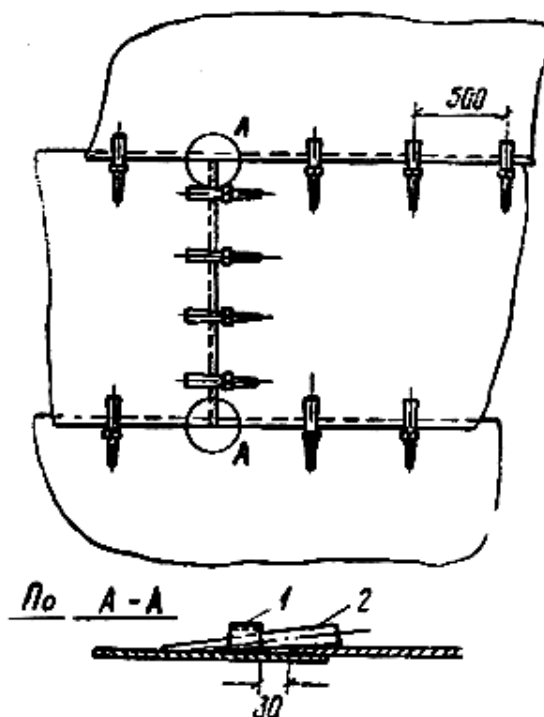


Рисунок 12 – Схема сборки днища с применением стяжных клиновидных приспособлений

Перед сборкой поясов проводят подготовку составляющих их листов. Предварительно необходимо проверить перпендикулярность трех кромок листа: нижней и двух боковых. С применением листогибочных вальцов придают листам необходимый радиус изгиба, правильность которого проверяется по предварительно изготовленному шаблону. Хранение листов после вальцевания проводится в горизонтальном положении при размещении листов краями на подкладки выпуклостями вниз. На каждом листе с внутренней его стороны вдоль верхней кромки должны быть выполнена риска, которая в последствии будет обозначать границу нахлестки при монтаже верхнего пояса.

На рисунке 13 представлена схема сборки стенки резервуара с применением приварных приспособлений. По рискам обратной стороны листов ослабленными швами приваривают угловые ограничители 5, на которые будет опираться нижняя кромка листов верхнего пояса. К днищу по риске устанавливают и прихватывают уголковые ограничители 1. При сборке пояса применяют сборочные планки 2 и оправку 3. Поджатие листов верхнего пояса проводят с применением прижимного приспособления 4.

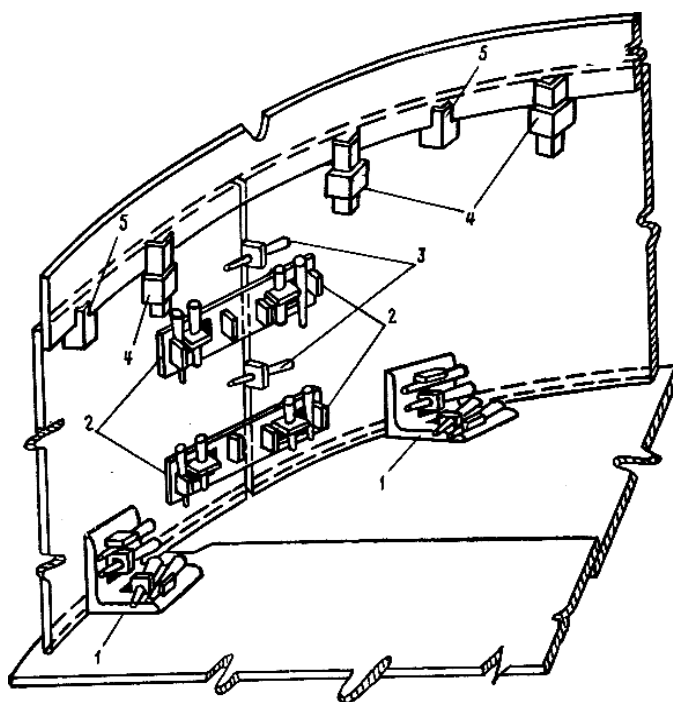


Рисунок 13 - Сборка стенки резервуара

Сварку вертикальных стыков первого пояса выполняют на высоту от окрайки 150...250 мм. После монтажа листов первого пояса и частичной заварки вертикальных стыков проводят сварку уторного шва, для чего привлекается два сварщика. Эти сварщики ведут одновременную сварку в одном направлении, находясь с противоположных сторон. Геометрия вертикального сварного шва представлена на рисунке 14. Геометрия уторного шва представлена на рисунке 15.

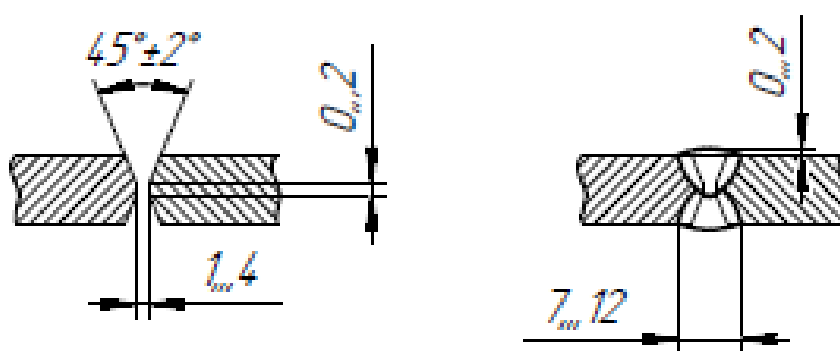


Рисунок 14 – Геометрия вертикального сварного шва

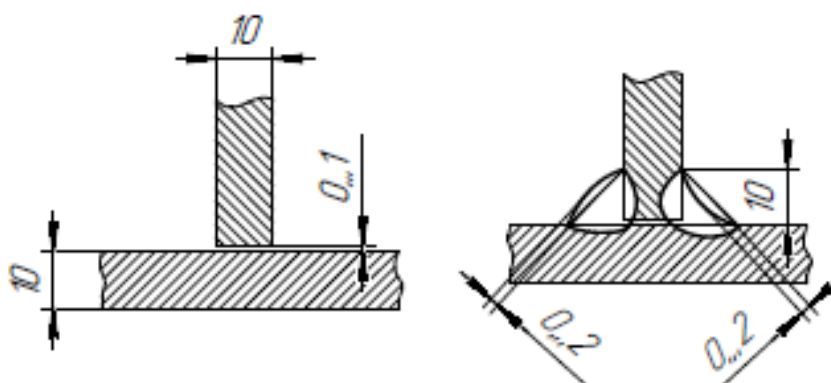


Рисунок 15 – Геометрия уторного шва

«После того, как был сварен уторный шов, выполняют окончательную заварку стыков кольца окрайек как показано на рисунке 16. Далее проводят сварку стыков крайних листов. Сварка выполняется на длину больше нахлеста центральной части днища на окрайку на величину 150...200 мм. после этого проводят сварку кольцевого шва, выполняя нахлесточное соединение центральной части днища и окрайки, как показано на рисунке 17, для чего

привлекается два сварщика, ведущих сварку одновременно в одном направлении вс разных сторон кольца окрайки» [19].

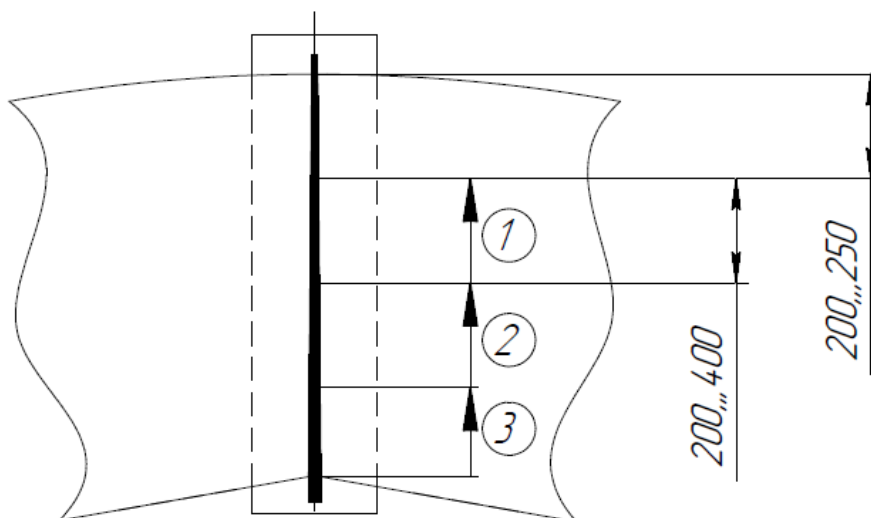


Рисунок 16 – Сварка недоваренных участков центральной части днища и окрайек

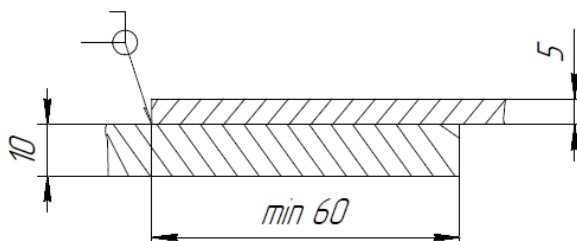


Рисунок 17 – Приварка окрайек к центральной части днища

При укладывании листов каждого пояса последний его лист обрезают по месту. Правильность разделки кромок листов и радиусгиба проверяется перед укладкой каждого листа. «С применением монтажных приспособлений листы следующего пояса закрепляют на предыдущем поясе. После этого доваривают вертикальные стыки предыдущего пояса. Далее монтируют листы следующего пояса и сваривают вертикальные стыки предыдущего пояса. После этого сваривают находящийся между поясами горизонтальный сварной шов» [19], который показан на рисунке 18.

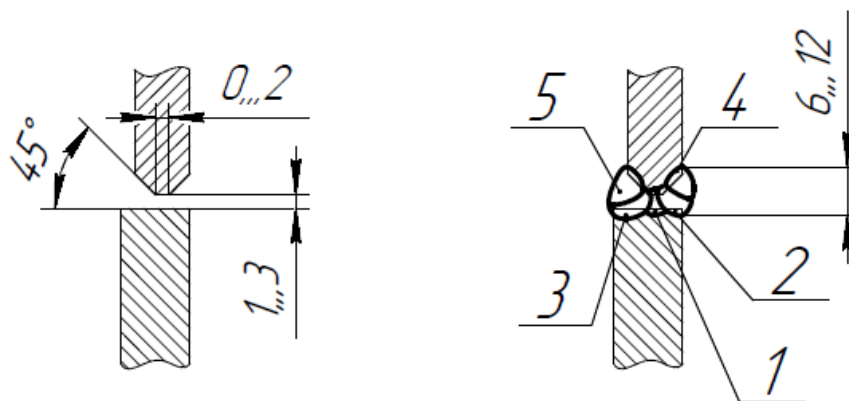


Рисунок 18 – Сварка горизонтального сварного шва

При выполнении горизонтального сварного шва первоначально с применением механизированной сварки захватками выполняют корневой слой. В пределах каждой захватки сварку ведут обратноступенчатым способом с длиной свариваемого участка 300 мм, после выполнения которого следует выполнять зашлифовывание и внешний осмотр на предмет наличия дефектов. Если наплавленный участок имеет усиление, превышающее заданные размеры, его следует зашлифовать до получения требуемого размера, так как необходимо обеспечить равномерную высоту наплавленного валика по всей протяженности корневого слоя шва, что упростит дальнейшую автоматическую сварку. После выполнения и проверки качества корневого слоя шва при помощи автоматической сварки выполняют весь шов, сварку ведут с каждой стороны в два слоя на проход, после выполнения первого слоя перед сваркой второго слоя следует провести очистку поверхности металла и визуальный контроль качества. Смещение замков при выполнении слоев должно составлять не менее 100 мм.

При выполнении сварных швов обязательно проведение предварительного прогрева кромок «на ширину 50 мм в обе стороны от линии сварного шва. Прогрев проводится до температуры 40...50 °С. При выполнении многопроходной сварки следует поддерживать межслойную температуру не ниже 50 °С. Если такую температуру поддерживать не удастся, следует проводить сопутствующий подогрев» [19]. При сварке применяется

проволока OK ARISTOROD 12.63 (ESAB), позволяющая в металле сварного шва получать следующий химический состав: углерод 0,1 %, марганец 1,28 %, кремний 0,8 %, медь до 0,05 %. Вредные примеси фосфор и сера ограничиваются до 0,013 %. При сварке в нижнем положении сила сварочного тока принимается для корневого слоя шва 140...210 ампер, для заполняющих слоев сила сварочного тока принимается 180...320 ампер, для облицовочного слоя сила сварочного тока устанавливается 140...180 ампер. При сварке в вертикальном положении сила сварочного тока принимается для корневого слоя шва 140...180 ампер, для заполняющих слоев сила сварочного тока принимается 160...220 ампер, для облицовочного слоя сила сварочного тока устанавливается 140...160 ампер. Для горизонтального положения сила сварочного тока принимается для корневого слоя шва 160...180 ампер, для заполняющих слоев сила сварочного тока принимается 240...300 ампер, для облицовочного слоя сила сварочного тока устанавливается 160...220 ампер. Во всех случаях вылет сварочной проволоки принимается 10...15 мм.

Выводы по второму разделу

Настоящий раздел является исполнительским и содержит описание решения поставленных задач, в ходе выполнения которых проведено обоснование применения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для реализации проектной технологии. Составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому резервуару. Далее следует выполнить два оценочных раздела. Предстоит выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Также следует рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности [2], [5]. Также следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии, на основании которого можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство [9], [10]. Последующее заключение должно содержать выводы и доказательство достижения поставленной цели.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

Ранее при выполнении разделов настоящей выпускной квалификационной работы рассмотрены вопросы повышения эффективности сборки и сварки стальных резервуаров. На основании экспертной оценки рассматриваемых способов сварки принято решение применить механизированную и автоматическую сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для реализации проектной технологии выбрано современное сварочное оборудование, применение которого на рассматриваемом производственном участке может стать причиной возникновения новых опасных и вредных производственных факторов. Применение предлагаемых решений на производственном участке позволяет получить технологический эффект в виде повышения производительности и качества работ, однако целесообразность внедрения предлагаемых решений в современное производство требует оценки возможности эффективно нейтрализовать возникающие при реализации проектной технологии негативные производственные факторы, пожарную опасность и антропогенное действие производственного участка на окружающую среду. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 2, которая дает начальную информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Применяемое на участке оборудование становится основным источником опасных и вредных производственных факторов.

Таблица 2 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки при возведении стальных резервуаров

Наименование операции	Персонал	Оборудование и материалы
«укладка и частичная сварка радиальных стыков окراек	- слесарь-сборщик - сварщик - дефектоскопист	- гусеничный кран - автокран - источник питания - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - сборочное приспособление - дефектоскоп
укладка и сварка листов центральной части днища	- слесарь-сборщик - сварщик	- гусеничный кран - автокран - источник питания - сварочный трактор - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - сборочное приспособление
монтаж и частичная сварка вертикальных стыков первого пояса	- слесарь-сборщик - сварщик - дефектоскопист	- гусеничный кран - автокран - источник питания - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - сборочное приспособление - дефектоскоп
сварка уторного шва	- слесарь-сборщик - сварщик - дефектоскопист	- источник питания - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - сборочное приспособление - дефектоскоп
сварка недоваренных участков центральной части днища и окراек	- слесарь-сборщик - сварщик - дефектоскопист	- автокран - источник питания - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - сборочное приспособление - дефектоскоп
приварка окраек к центральной части днища	- слесарь-сборщик - сварщик - дефектоскопист	- автокран - источник питания - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - сборочное приспособление - дефектоскоп
монтаж листов следующих поясов и доварка вертикальных, швов предыдущего пояса	- слесарь-сборщик - сварщик - дефектоскопист	- автокран - источник питания - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - дефектоскоп
сварка горизонтального шва (после сварки примыкающих вертикальных швов	- слесарь-сборщик - сварщик - дефектоскопист	- источник питания - механизм подачи проволоки - газовая аппаратура - дефектоскоп» [19]

Представленный в таблице укрупненный анализ проектной технологии позволяет в дальнейшем выполнить формулировку опасных и вредных производственных факторов, возникающих при выполнении каждой операции.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении операций проектного технологического процесса персонал подвергается воздействию набора негативных производственных факторов, перечень которых для каждой операции представлен в таблице 3, позволяющей в дальнейшем синтезировать алгоритмы и методики защиты персонала предприятия в соответствии с действующими нормативами. Укрупненный технологический процесс состоит из 8 операций, каждая из которых представляет комплекс действий, выполнение которых сопровождается образованием ряда негативных производственных факторов, которые можно объединить в пределах выполняемых операций. неблагоприятные производственные факторы могут быть разделены на вредные производственные факторы и опасные производственные факторы. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. К второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая. Идентифицированные факторы относятся к факторам, ранее возникающим на предприятии, для их нейтрализации может быть применен стандартный набор средств. Если рассматриваемый фактор не оказывает негативного действия на человека, то такой фактор следует отнести к нейтральным факторам, и такие факторы при составлении перечня защитных операций не учитываются.

Таблица 3 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
укладка и частичная сварка радиальных стыков окраск	- «движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение; - радиоактивное излучение
укладка и сварка листов центральной части днища	
монтаж и частичная сварка вертикальных стыков первого пояса	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
сварка уторного шва	
сварка недоваренных участков центральной части днища и окраск	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение; - радиоактивное излучение
приварка окраск к центральной части днища	
монтаж листов следующих поясов и доварка вертикальных, швов предыдущего пояса	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение» [5]
сварка горизонтального шва (после сварки примыкающих вертикальных швов	

Таким образом, реализация проектного технологического процесса характеризуется наличием восьми негативных факторов, защита от которых персонала должна обеспечиваться на современном промышленном предприятии и успешно обеспечивается с применением типовых технических средств и организационных мероприятий, содержащихся в арсенале предприятия.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Ранее проведенный анализ укрупненного технологического процесса позволил сформировать перечень негативных производственных факторов, согласно требований ГОСТ 12.0.003-2015. Мероприятия и средства по нейтрализации негативных факторов представлены в таблице 4. «При анализе рассматриваемых негативных факторов они могут быть условно разделены на две группы. К первой группе относят такие факторы, действие которых на персонал (длительное или кратковременное) может привести к получению травмы или прерыванию жизненных функций, такие факторы относят к опасным. Ко второй группе относятся вредные факторы» [5], действие которых на человека может спровоцировать возникновение профессиональных заболеваний или усугубить их протекание. Следует принимать во внимание кумулятивный эффект, выражающийся в накоплении вредного действия в течение длительного времени, которое может никак не проявлять себя, однако в дальнейшем проявляет себя в резкой форме, например, длительное воздействие на зрительные органы яркого света и ультрафиолетового излучения от дуги со временем вызывает помутнение хрусталика и отслойку сетчатки у сварщика. Также длительное вдыхание сварочных аэрозолей становится причиной заболевания органов дыхания и печени. Также при анализе негативных факторов следует принимать во внимание их комплексное воздействие, выражающееся во взаимном усилении негативной формы действия при одновременном действии нескольких факторов. Составление перечня мер по защите персонала должно базироваться на принципе комплексности, предусматривающем устранение вредного воздействия всех возникающих негативных факторов на всех этапах технологического процесса. Особое внимание следует уделить поддержанию трудовой дисциплины и порядка на рабочем месте, нарушение которых является основной причиной возникновения несчастных случаев на производстве.

Таблица 4 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
«инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
радиоактивное излучение	- ограничение времени негативного воздействия	специальная одежда
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
химические вещества в аэрозольном состоянии» [5]	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски

«Анализ данных таблицы позволяет судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Для защиты персонала не требуется разработки специальных средств и методик» [5].

Дальнейшие исследования следует сосредоточить в направлении обеспечения пожарной безопасности и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Возведение резервуаров предполагает проведение значительного объема сварочных работ с применением как полуавтоматов, так и автоматических машин. Источником возгорания может служить сама дуга, горение которой сопровождается интенсивным тепловым и ультрафиолетовым излучением, нагретые элементы конструкции, брызги расплавленного металла. Кроме того, для выполнения сварки необходим подвод электрической мощности, нарушение в работе электрического оборудования может также являться причиной возникновения пожара. В таблице 5 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить.

Таблица 5 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок возведения вертикальных стальных резервуаров
Наименование оборудования	Гусеничный кран, автокран, источник питания, механизм подачи проволоки, газовая аппаратура, сборочное приспособление, дефектоскоп
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	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [5]	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

При возникновении на рассматриваемом участке пожара, неминуемо возникают его опасные факторы. К таким фактора относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. В таблице 6 представлены средства, обеспечивающие

устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 6 – Средства устранения 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» [5]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Планирование противопожарных мероприятий следует выполнять с учётом приоритетности предупредительных мероприятий. Особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания. Запрещается сваливание на участке мусора (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности. Запрещается работа на неисправном сварочном оборудовании. Необходимо проведение учений по пожарной безопасности и обеспечение участка средствами первичного пожаротушения. Запрещается работа на неисправном оборудовании. Участок, на котором выполняются наплавочные работы, должен быть оснащен аппаратурой аварийного отключения питания от технологических установок в случае возникновения внештатной ситуации. Необходимо оснащение участка планом эвакуации и средствами оповещения.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Построение технологических процессов не только должно отвечать требованиям обеспечения безопасности персонала и пожарной безопасности, но соответствовать требованиям экологической безопасности, что предусматривает минимизацию наносимого окружающей среде ущерба со стороны предприятия. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс сварки вертикальных стальных резервуаров, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Далее представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов. Для защиты атмосферы вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы следует обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в «ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу.» [2]

Выводы по экологическому разделу

Углубленный анализ проектной технологии возведения стального резервуара с применением полуавтоматической и автоматической сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения позволил сформулировать перечень опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии на рассматриваемом участке. Для обеспечения требуемого уровня безопасности труда применяются стандартные средства и организационные мероприятия. Как показала экспертная оценка их эффективности, необходимый уровень безопасности обеспечивается с применением стандартных средств, и проведения специальной разработки не требуется. Проведенная оценка пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволила сформулировать перечень средств и мероприятий по повышению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Далее был рассмотрен вопрос обеспечения требуемого уровня защиты окружающей среды от антропогенного воздействия со стороны производственного участка. В настоящем разделе составлен перечень мероприятий по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Таким образом на основании выполнения настоящего экологического раздела следует сделать вывод, что предлагаемая проектная технология не нарушает требований по производственной, пожарной и экологической безопасности.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности сварочных операций при возведении вертикальных стальных резервуаров. Во втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы описано решение задач, выполнение которых позволяет построить проектную технологию сварки.

На основании экспертной оценки альтернативных способов наплавки для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения автоматическую и полуавтоматическую. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества.

За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 7.

Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии сварки при возведении вертикальных стальных резервуаров. Исходя из особенностей рассматриваемого технологического процесса построение производства будет ориентировано на односменный режим работы.

Таблица 7 – Данные для расчета экономических показателей производства

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.	1710 тыс.	3410 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	3,02	3,02
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	м ²	1000	1000
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м 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» [10]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования F_H и «эффективный фонд времени работы оборудования F_3 , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_H в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты» [10].

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для «расчётов принимается количество смен $K_{см}=1$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчётов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчётов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

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

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [10] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_3 = 2054$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . «Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 50 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [10] «выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 120 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 210$ часов. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 90 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 157$ часов.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования F_3 и штучного времени $t_{шт}$ как» [10]

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

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/210 = 9$ возводимых резервуаров за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/157 = 13$ возводимых резервуаров за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 5$ возводимых резервуаров за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [10]:

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

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 210 \cdot 3 / (2054 \cdot 1,03) = 0,5$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 157 \cdot 3 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет по одному. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

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

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,5/1 = 0,5$ и $K_3 = 0,4/1 = 0,4$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $H_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [10]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot H_{\text{р}} \cdot K_{\text{т-з}} . \quad (7)$$

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = (900 \text{ кг} \cdot 110 \text{ р/кг} + 1100 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 6000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 236250 \text{ руб.}$ Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $M_{\text{баз}} = (2000 \text{ кг} \cdot 60 \text{ р/кг} + 9000 \text{ л} \cdot 10 \text{ р/л}) \cdot 1,05 = 220500 \text{ руб.}$

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}} = 200 \text{ руб.}$, $K_{\text{д}} = 1,88$ и $K_{\text{доп}} = 0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 210 \cdot 200 \cdot 1,88 = 78960 \text{ руб.}$ Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 157 \cdot 200 \cdot 1,88 = 59032 \text{ руб.}$ » [10]

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 78960 \cdot 0,12 = 9475$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 59032 \cdot 0,12 = 7083$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$ФЗП = З_{осн} + З_{доп}. \quad (10)$$

Применение (10) «для базового варианта позволяет получить величину $ФЗП = 78960 + 9475 = 88435$ руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $ФЗП = 59032 + 7083 = 66115$ руб.» [10]

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды O_{cc} определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{сн}$ » [10], значение которого для рассматриваемого производства из таблицы исходных значений принимается $K_{сн} = 0,34$. Расчёт величины O_{cc} :

$$O_{сн} = ФЗП \cdot K_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) «для базового варианта позволяет получить величину $O_{сн} = 88435 \cdot 0,34 = 30068$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{сн} = 66115 \cdot 0,34 = 22480$ руб. Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $З_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{об}$ и затраты на электрическую энергию $P_{э}$. При расчете величины $A_{об}$ применяются ранее определенные значения F_9 и $t_{маш}$, а также принятые для рассматриваемого

производства норма амортизации H_a и стоимость оборудования $\Pi_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_y \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 1710000 \cdot 21,5 \cdot 120 / 2054 / 100 = 21479$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 3410000 \cdot 21,5 \cdot 90 / 2054 / 100 = 32124$ руб.» [10] Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{ээ}$ выполняется применяется «цена электрической энергии $\Pi_{ээ}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{ээ}$:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 120 \cdot 16 \cdot 3,2 / 0,7 = 8777$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 90 \cdot 20 \cdot 3,2 / 0,85 = 6776$ руб.

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{ээ}$:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об} = 21479 + 8777 = 30256$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 32124 + 6776 = 38918$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат

на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды O_{cc} , затрат на оборудование $З_{об}$:

$$C_{тех} = M + \Phi ЗП + O_{cc} + З_{об}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 236250 + 88435 + 30068 + 30256 = 385008$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{тех} = 220500 + 66115 + 22480 + 38918 = 348013$ руб.» [10]

Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{цех}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{цех}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{цех}=1,5$. Расчёт величины $C_{цех}$:

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех}=385008 + 1,5 \cdot 78960 = 385008 + 118440 = 503449$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{цех}=348013 + 1,5 \cdot 59032 = 348013 + 88548 = 436561$ руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{цех}$ и основной заработной платы $З_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{зав}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{зав}=1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{\text{зав}} = 503449 + 1,15 \cdot 78960 = 503449 + 90804 = 594253$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{\text{зав}} = 436561 + 1,15 \cdot 59032 = 436561 + 67887 = 504448$ руб.» [10]

Для анализа которых на рисунке 19 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса. Калькуляция представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1. «Затраты на материалы	М	236250	220500
2. Фонд заработной платы	ФЗП	88435	66115
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	30068	22480
4. Затраты на оборудование	Зоб	30256	38918
5. Технологическая себестоимость	Стех	385009	348013
6. Цеховые расходы	Рцех	118440	88548
7. Цеховая себестоимость	Сцех	503449	436561
8. Заводские расходы	Рзав	90804	67887
9. Заводская себестоимость» [10]	Сзав	594253	504448

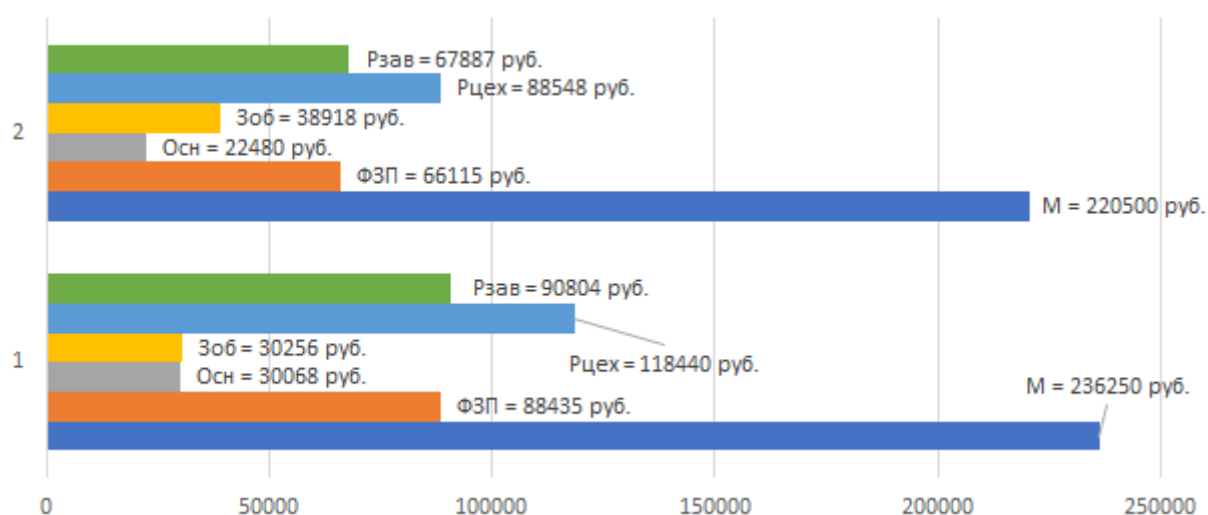


Рисунок 19 – Состав заводской себестоимости

Далее для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

«Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=2$ года и цене оборудования $\Pi_{перв}= 1710$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5 \%$ » [10]:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 1710000 - (1710000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 974700$ руб.

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии, рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б} = 1 \cdot 974700 \cdot 0,5 = 487350 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об. пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,4$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.} = 3410$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят» [10]

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 3410000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 1436100 \text{ руб.} \quad (20)$$

«Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}= 1710$ тыс. рублей определяют как» [10]

$$P_{дем} = \Pi_{об. б.} \cdot K_d = 1710000 \cdot 0,05 = 85500 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{\text{об.пр.}}=3410$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 3410000 \cdot 0,05 = 170500 \text{ рублей.} \quad (22)$$

Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{мон}}$:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 85500 + 170500 = 256000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

Величину капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ.пр.}}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 716100 + 256000 = 972100 \text{ руб.} \quad (24)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б.}}$ и капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ. пр.}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 972100 - 487350 = 484750 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{Г}}$:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [9] затрат составляет $K_{\text{уд}} = 487350/5 = 97470$ рублей за один вертикальный стальной резервуар. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 972100/5 = 194420$ рублей за один вертикальный стальной резервуар.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа показателей экономической эффективности. Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (210 - 157) \cdot 100 \% / 210 = 25 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда P_T :

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 25 / (100 - 25) = 33 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (385000 - 348000) \cdot 100\% / 385000 = 10 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $\mathcal{E}_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы P_T :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot P_T = (594253 - 504448) \cdot 5 = 449025 \text{ рублей.} \quad (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $T_{ок}$:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 484750 / 449025 = 1 \text{ года.} \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта $\mathcal{E}_T$ с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H = 0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 449025 - 0,33 \cdot 484750 = 289058 \text{ рублей.} \quad (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В исполнительском разделе рассматривался вопрос построения технологии сварки при возведении вертикальных стальных резервуаров. Базовый процесс предусматривает применение ручной дуговой сварки. Проведено обоснование применения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для реализации проектной технологии. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому стальному резервуару. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учетом исходных данных и рассчитанных временных параметров процесса в базовом и проектном вариантах технологии выполнен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ. При расчётах установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения наплавочных работ. Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 25 %, производительность процесса повышается на 33 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 10 %. При капитальных вложениях срок окупаемости составляет 1 год, а экономический эффект составляет около 0,3 млн. рублей.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, связанных с повышением эффективности сварочных операций при возведении резервуарного парка на нефтеперерабатывающих предприятиях Российской Федерации. В ходе работы над введением выполнено обоснование актуальности выбранного направления исследования и формулировка цели выпускной квалификационной работы. В ходе анализа базовой технологии были сформулированы недостатки, устранение которых позволит поставленную цель достигнуть. При решении первой задачи выполнен анализ методик возведения стальных резервуаров, от выбора конкретной методики зависит дальнейшее обоснование выбора способа сварки и особенности выполнения операций проектного технологического процесса. При решении второй задачи выполнено обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии и повышение его эффективности применительно к случаю сварки рассматриваемого стального резервуара. При решении третьей задачи выполнено построение технологического процесса сборки и сварки резервуара, который предусматривает перечень технологических операций, выбор оборудования, назначение параметров режима и формулировка требований к выполнению каждой операции. На основании выполнения настоящего оценочного (экологического) раздела следует сделать вывод, что предлагаемая проектная технология не нарушает установленных нормативной документацией требований по производственной, пожарной и экологической безопасности. Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 25 %, производительность процесса повышается на 33 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 10 %. Экономический эффект составляет около 0,3 млн. рублей. На основании вышеизложенного следует сделать вывод о достижении поставленной цели. Результаты выпускной квалификационной работы предлагается применить при строительстве стальных резервуаров.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Банов М. Д., Казаков Ю. В., Козулин М. Г. Сварка и резка материалов : учеб. пособие. М. : Издательский центр «Академия», 2000. 400 с.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
4. Гайсин Э. Ш., Фролов Ю. А. Методический подход к оценке качества технических систем с учётом их жизненного цикла на примере резервуара стального вертикального (РВС) // Нефтегазовое дело. 2012. № 3. С. 83–86.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Гулаков С. В., Носовский Б. И. К вопросу построения модели сварочной ванны при дуговой сварке плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 2002. № 9. С. 24–28.
7. Кондрашова О. Г., Назарова М. Н. Причино-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2004. № 2. С. 21–29.
8. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Крампит М. А. Сварка с импульсным питанием в углекислом газе при работе системы с обратными связями // Вестник науки Сибири. 2011. № 1. С. 715–721.
9. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
10. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
11. Лебедев, В.А. Зависимость между скоростями импульсной подачи электродной проволоки и её плавления при сварке с короткими замыканиями / В.А. Лебедев // Автоматическая сварка. 2007. № 4. С. 19–22.

12. Лупачев А. Г., Черный А. Н. Оценка технологических процессов сварки ответственных конструкций с позиции надежности ложных технологических систем // Вестник Белорусско-Российского университета. 2008. № 3. С. 100-110.
13. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45-51.
14. Маковецкая О. К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных сварочных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54-61.
15. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
16. Пермяков М. Б., Чернышова Э. П., Кришан А. Л. Актуальные проблемы строительства : монография. Магнитогорск, 2013. 139 с.
17. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
18. 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.
19. РД 25.160.10-КТН-001-12 Инструкция по технологии сварки при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. 2011. 216 с.
20. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.
21. 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.

22. Сильницкий П. Ф. Влияние дефектов сварки на напряжённо-деформированное состояние резервуаров : дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук. Тюмень, 2012.

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

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

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

26. Шлепаков В. Н., Наименко С. М., Билинец А. В. Влияние состава сердечника порошковой проволоки и защитного газа на стабильность процесса дуговой сварки // Автоматическая сварка. 2005. № 6. С. 18–22.