

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

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

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

«Оборудование и технология сварочного производства»  
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технологический процесс и оборудование  
для изготовления днища вертикального резервуара

Студент

В.Е. Литвинцев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

## Аннотация

В настоящий момент технология возведения стальных вертикальных резервуаров обладает очень низким уровнем механизации при выполнении операций сборки и сварки. Это приводит к малой производительности выполняемых работ и снижает их качество. Показанные проблемы усугубляются тяжёлыми условиями, в которых приходится работать сварщикам при монтаже резервуара.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных операций при монтаже днища вертикального стального резервуара.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- обоснование выбора способа сварки;
- повышение эффективности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемому изделию;
- составление проектной технологии сборки и сварки изделия.

Анализ возможных способов сварки позволил обосновать выбор сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах (механизированной и автоматической) при построении проектной технологии сварки. Была составлена проектная технология сварки днища вертикального резервуара, назначены параметры режима сварки и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,85 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,5 года.

## Содержание

Введение .....	5
1 Современное состояние сварки днищ вертикальных резервуаров. ....	7
1.1 Описание изделия и условий его работы. ....	7
1.2 Сведения о материале для изготовления днища вертикального стального резервуара .....	10
1.3 Операции базового технологического процесса сборки и сварки днища вертикального резервуара. ....	12
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	18
2 Проектная технология сварки днища вертикального резервуара. ....	19
2.1 Обоснование выбора способа сварки .....	19
2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. ....	23
2.3 Особенности выполнения операций по проектному технологическому процессу сборки и сварки днища вертикального резервуара .....	28
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса .....	39
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	39
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	41
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	43
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	44
3.5 Обеспечение экологической безопасности .....	46
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии. ....	48
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений .....	48
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования .....	50
4.3 Расчет штучного времени .....	51

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии . . . . .	53
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии. . . . .	58
4.6 Показатели экономической эффективности. . . . .	60
Заключение . . . . .	63
Список используемой литературы и используемых источников . . . . .	64

## Введение

Значительное место в системе трубопроводного транспорта Российской Федерации занимает резервуарный парк, общий объём которого в настоящий момент составляет около 9 млн. тонн. Поскольку потребление нефти и нефтепродуктов на душу населения неуклонно растёт, то увеличивается и потребность в добыче и хранении нефти. В связи с этим резервуарный парк для хранения нефтепродуктов будет увеличиваться.

Назначение резервуаров вертикальных стальных (РВС) – хранение нефтепродуктов, которое может происходить в различных климатических условиях. При разрушении резервуара происходит розлив нефтепродукта по значительной территории, существует даже риск его возгорания, что может привести не только к нарушению экологической обстановки в регионе, но и к человеческим жертвам [21]. Согласно [9] за 50 последних лет эксплуатации вертикальных стальных резервуаров в нашей стране произошло более 140 их крупных аварий с разливом нефтепродуктов.

В связи с этим проблема обеспечения качества сварки при монтаже вертикальных стальных резервуаров является насущной, а поиск её решения – актуальной задачей.

Днище и первый пояс стенки являются наиболее нагруженными элементами конструкции вертикального стального резервуара [4]. Работоспособность днища резервуара определяется рядом технологических и неблагоприятных эксплуатационных факторов. К первому фактору следует отнести качество выполнения технологических операций при монтаже днища резервуара, которое существенно зависит от качества подготовки фундамента и основания. Ко второму фактору следует отнести эффективность электрохимической защиты. К третьему фактору следует отнести различные механические воздействия, которым подвергается резервуар в процессе эксплуатации, в том числе и изменение формы рельефа под действием геологических и геофизических факторов, что приводит к

повышенным локальным напряжениям в металле днища. Ещё одним неблагоприятным фактором является коррозия внутренней и внешней поверхности, которая зависит от агрессивности хранимых продуктов, осадков, влажности воздуха и перепадов температуры [2], [4].

Сварка является основным технологическим процессом, применяемым при монтаже стальных резервуаров. Повышение производительности и качества выполняемых работ достигается при условии их механизации [17], [19].

В настоящий момент технология возведения стальных вертикальных резервуаров обладает очень низким уровнем механизации при выполнении операций сборки и сварки. Это приводит к малой производительности выполняемых работ и снижает их качество. Показанные проблемы усугубляются тяжёлыми условиями, в которых приходится работать сварщикам при монтаже резервуара. Таким образом, решение проблемы повышения конкурентоспособности предприятия, занимающегося возведением стальных резервуаров, лежит в плоскости повышения производительности и качества сварки при снижении себестоимости выполнения работ. Это возможно при условии применения современных достижений в области управления процессами дуговой сварки, внедрения перспективных методик контроля и высокопроизводительных способов сварки, позволяющих выполнять сварку на форсированных режимах без ухудшения, а зачастую, с повышением качества сварных соединений.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности сварочных операций при монтаже днища вертикального стального резервуара.

Предметом исследования в выпускной квалификационной работе является технология монтажа и способы сварки при монтаже днища вертикальных стальных резервуаров. Объектом исследования является вертикальный цилиндрический резервуар объёмом 2000 м<sup>3</sup>.

# 1 Современное состояние сварки днищ вертикальных резервуаров

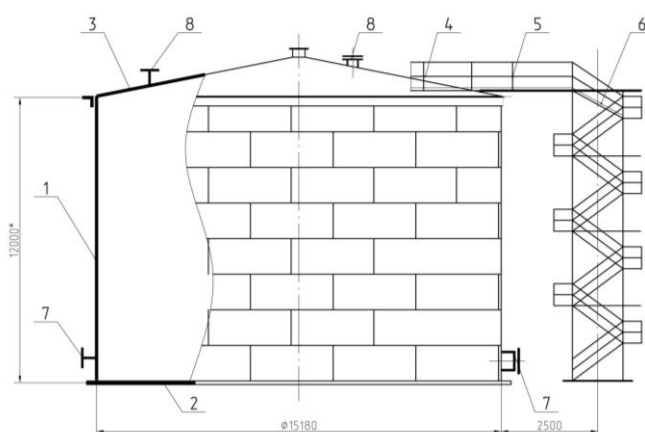
## 1.1 Описание изделия и условий его работы

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается сварка при монтаже днища резервуара РВС-2000, представленного на рисунке 1, который имеет полезный объем 2000 м<sup>3</sup>. Резервуар выполнен в виде вертикальной цилиндрической ёмкости, которую устанавливают на кольцевом железобетонном фундаменте.

Для выполнения вертикальной стенки применяются металлические листы размером 1,5х6 метров. Толщина нижнего пояса составляет 8 мм, толщина верхнего пояса составляет 5 мм. Сварной шов верхнего пояса выполняется ослабленным, что позволяет предотвратить полное разрушение резервуара в случае взрыва.

Днище резервуара, представленное на рисунке 2, выполнено из листов толщиной 6 мм. Окрайки днища резервуара представляют собой листы, которые располагаются по периметру днища в зоне опирания стенки.

Согласно ГОСТ 27751-88 рассматриваемый резервуар относится к I (повышенному) уровню опасности.



1 – стенка, 2 – днище. 3 – крыша, 4 – площадки на крыше,  
5 – переход на шахтную лестницу, 6 – шахтная лестница, 7 – люки и патрубки в стенке,  
8 – люки и патрубки в крыше

Рисунок 1 – Резервуар РВС-2000 для хранения

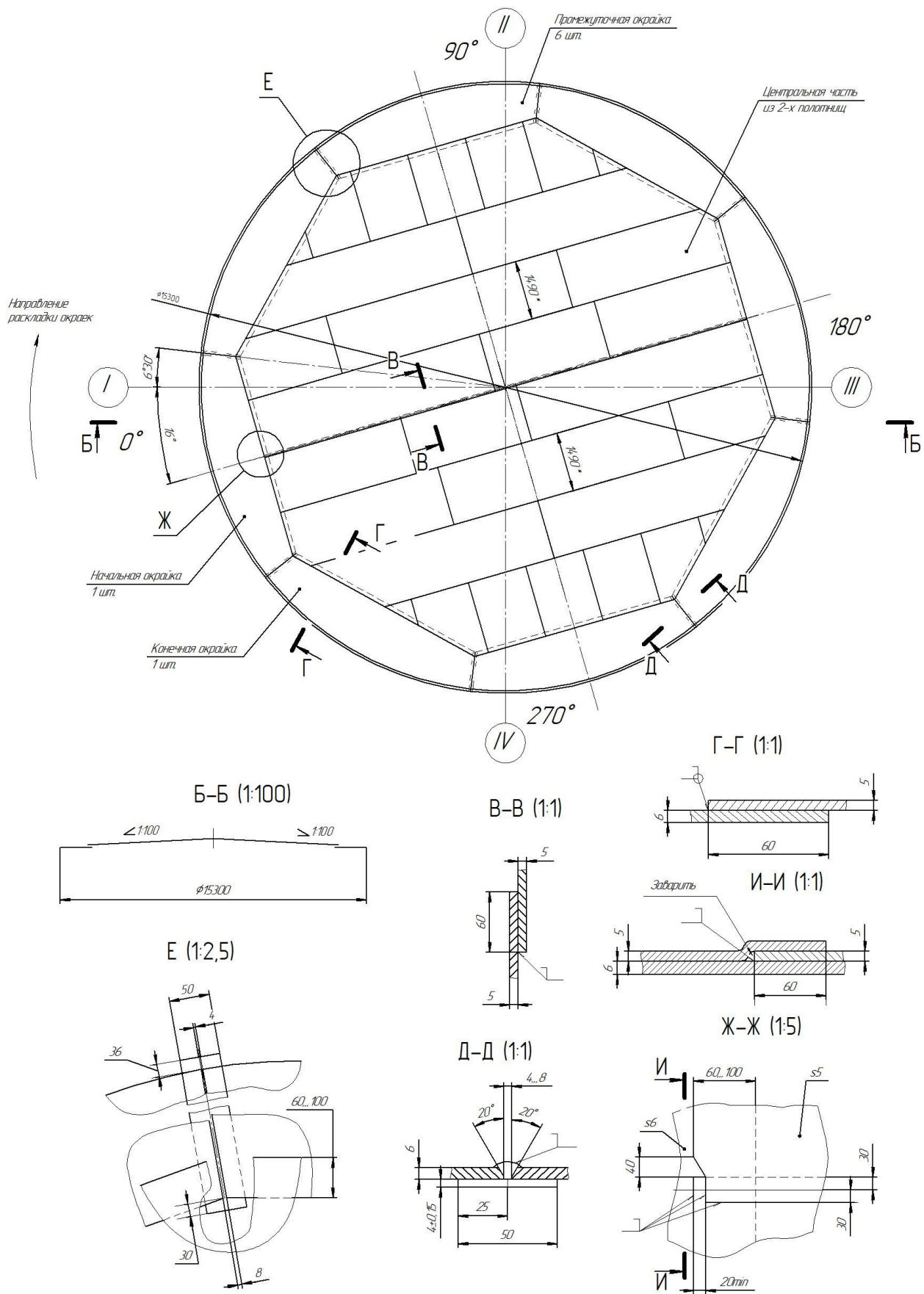


Рисунок 2 – Днище резервуара с окрайками



Высота стенки резервуара составляет 11920 мм, количество поясов в стенке – 8 штук. Количество окраек днища – 9 штук. Масса конструкций резервуара составляет: стенки – 24909 кг, днища – 8811 кг, крышки – 12729 кг, лестницы – 2128 кг, площадки на крыше – 2153 кг, люков и патрубков – 706 кг, комплектующих конструкций – 1459 кг, каркаса и упаковки – 5200 кг. Общая масса резервуара составляет 58095 кг.

Днище резервуара имеет коническую форму с размером уклона 1:100 от центра к краям, что упрощает удаление подтоварной воды. Днище резервуара выполнено из листовой стали толщиной 6 мм и включает в себя центральную часть и окрайку. С наружной стороны окрайки имеет форму круга, с внутренней стороны окрайки выполнены в виде многогранника, у которого количество граней соответствует количеству листов, из которых выполнены окрайки. Окрайка рассматриваемого резервуара выполнена из 8 листов толщиной 6 мм.

Центральная часть днища изготавливается из отдельных листов толщиной 5 мм. Нахлест центральной части днища на кольцо окраек составляет 60...100 мм. Нахлест листов полотнищ центральной части днища между собой составляет 30...50 мм.

Расстояние от сварных соединений окраек днища, расположенных под нижней кромкой стенки, до вертикальных швов нижнего пояса стенки должно быть не менее 100 мм. Срезы на деталях по узлу Ж выполнить по месту при монтаже днища. Стыковые сварные швы окраек следует выводить на подкладку, выступающую часть подкладки обрезать на монтаже. Стыковые сварные швы окраек должны контролироваться радиографическим методом в объеме 100 % (один снимок длиной не менее 240 мм у наружного периметра окраек) Перед выполнением сварного шва между центральной частью и окрайкой днища резервуара рекомендуется произвести подбивку пазух материалом, предусмотренным для гидрофобного слоя основания резервуара. Выпуклость сварных соединений окраек в зоне сопряжения со стенкой резервуара снять заподлицо с основным металлом.

## 1.2 Сведения о материале для изготовления днища вертикального стального резервуара

Вертикальный цилиндрический стальной должен быть изготовлен из спокойной или полуспокойной низкоуглеродистой или низколегированной стали, временное сопротивление которой составляет до 686,5 МПа [15]. Независимо от класса прочности применяемой стали, она должна позволять выполнять сварку с применением всех способов, которые перечислены нормативно-технической документацией [6], [10].

Для изготовления корпуса резервуара применяется сталь 09Г2С. Для изготовления лестницы и ограждения – сталь Ст3.

Сталь 09Г2С – конструкционная низколегированная сталь, химический состав которой представлен в таблице 1, а механические свойства – в таблице 2. Они обусловили широкое применение этой стали при изготовлении металлических конструкций. Сварные конструкции из стали 09Г2С могут продолжительное время работать под давлением при температуре окружающего воздуха от -70 до + 425 °С. Заменителями стали 09Г2С могут считаться такие стали, как 09Г2, 09Г2Т, 09Г2ДТ и 10Г2С.

Таблица 1 –Химический состав стали 09Г2С в соответствии с ГОСТ 2591-2006

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

Таблица 2 – Механические свойства стали 09Г2С в соответствии с ГОСТ 19282-73

$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\delta$ , %
460	300	31

Сталь 09Г2С сваривается без ограничений всеми способами сварки. Реакция стали 09Г2С на термический цикл при сварке, отличающаяся от реакции обычной низкоуглеродистой стали [26]. При сварке металлических

конструкций из стали 09Г2С возможно измельчение структуры в зоне термического влияния сварного шва и повышение твёрдости металла. Вероятность получения закалочных структур при сварке изделий из стали 09Г2С повышается, если превышена критическая скорость охлаждения металла [11], [24].

Действенным средством против образования закалочных структур при сварке стали 09Г2С является предварительный подогрев, который способствует перлитному превращению. Путём изменения скорости охлаждения становится возможным получение желаемой твёрдости металла в зоне термического влияния. Однако следует учитывать, что при сварке резервуаров введение предварительного подогрева технически трудно осуществимо [25].

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями, сварные конструкции из стали 09Г2С имеют меньшую стойкость против кристаллизационных трещин. Это объясняется действием углерода, марганца и кремния. Повышение стойкости против кристаллизационных трещин достигается уменьшением в металле шва серы и углерода. Для этого необходимо применять сварочную проволоку со сниженным содержанием серы и углерода. Определяющее значение в повышении прочности сварных соединений из стали 09Г2С имеет рациональная последовательность выполнения сварных швов, обеспечение правильности его геометрии [12].

Легирование металла сварного шва химическими элементами из основного металла позволяет получить равнопрочность шва и основного металла. Также, склонность к хрупкому разрушению и прочность металла шва может быть повышена легированием элементами из сварочной проволоки [20].

Такие химические элементы, как кремний и марганец, увеличивают содержание закалочных структур. Исходя из этого, при сварке конструкций из стали 09Г2С необходимо назначать режимы с меньшей, по сравнению с низкоуглеродистой сталью, погонной энергией.

### **1.3 Операции базового технологического процесса сборки и сварки днища вертикального резервуара**

Сборку днища вертикального резервуара выполняют в несколько этапов: монтаж окраек днища, монтаж рулонированных полотнищ днища резервуара, доварка стыковых соединений окрайки, прихватка и сварка кольцевого шва окрайки и центральной части днища.

Сначала выполняют разметку основания днища. В основание в центре резервуара вбивают штырь, который обозначает центр резервуара. При помощи репера и рулетки на основании резервуара выполняют две кольцевые риски. Первая риска – обозначает кромки окраек и имеет радиус  $R_{окр}$ , равный внешнему радиусу окраек. Вторая риска – контрольная и она обозначает предельное отклонение при монтаже окраек, радиус этой риски составляет  $R_{окр}+30$  мм.

На первом этапе выполняют монтаж окраек днища. С использованием крана ДЭК-631 окрайки раскладывают по риске  $R_{окр}$ . На одной торцевой кромке каждой окрайки приваривают подкладную пластину толщиной 4 мм и шириной 50 мм, при этом соединение подкладной пластины и окрайки выполняют прихватками с шагом 150...200 мм, усилением 3 мм и длиной 50 мм. Окрайки собираются встык на остающейся подкладке. При сборке сохраняется клиновидный зазор, который расширяется к центру днища. Этот зазор позволяет компенсировать усадку при последующей сварке первого пояса резервуара с окрайками днища. Величина клиновидного зазора на периферии составляет 4 мм, а в центральной части – 8 мм, как показано на рисунке 3-а. Смещение кромок в стыках окраек не должно превышать 10 % от толщины. Зазор между окрайкой и подкладной пластиной должен быть не более 1 мм.

После укладки окраек необходимо выполнить их зачистку от ржавчины и других загрязнений на ширину 50 мм от стыка. Закрепление

стыков окраек осуществляется с применением сборочных скоб и поперечных гребёнок.

Стыки между крайками заваривают на длине 200...250 мм от наружной кромки, как показано на рисунке 3-б. Сварку окраек одновременно ведут 4 сварщика, которые расположены напротив друг друга по окружности резервуара. По мере выполнения сварных швов эти сварщики перемещаются по часовой стрелке. Таким образом, каждый сварщик выполняет по два сварных стыковых шва.

Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

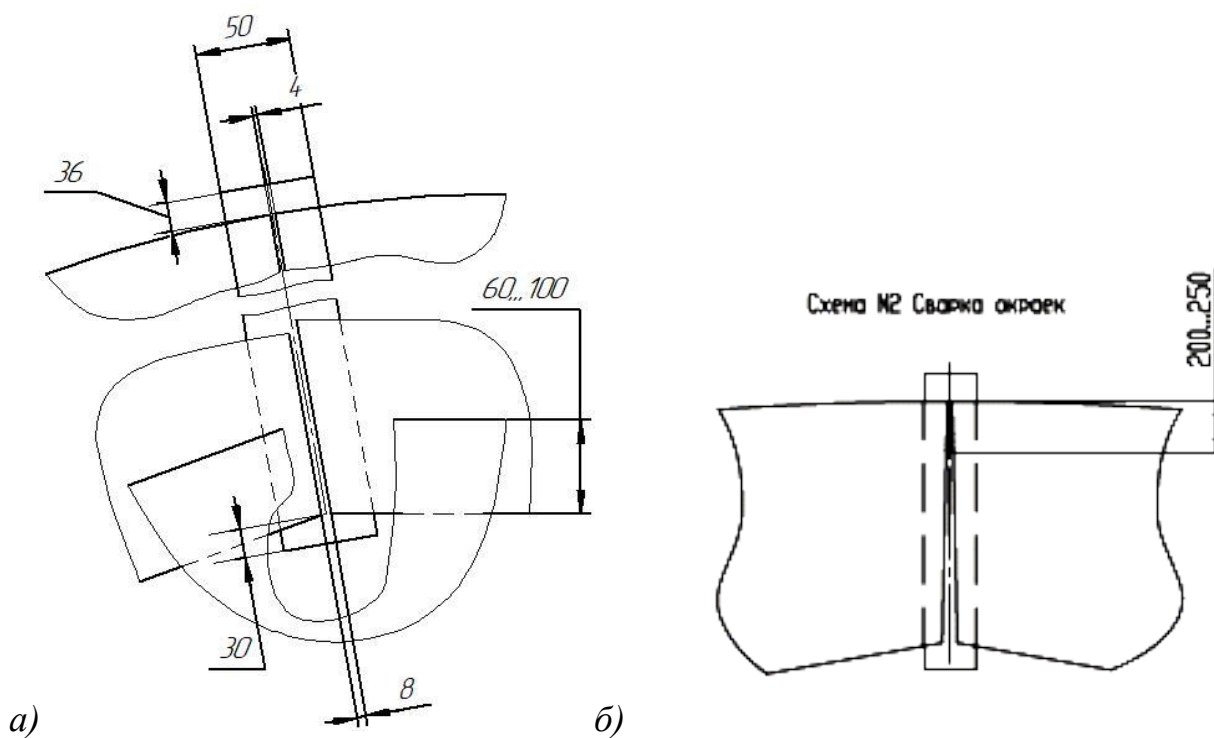
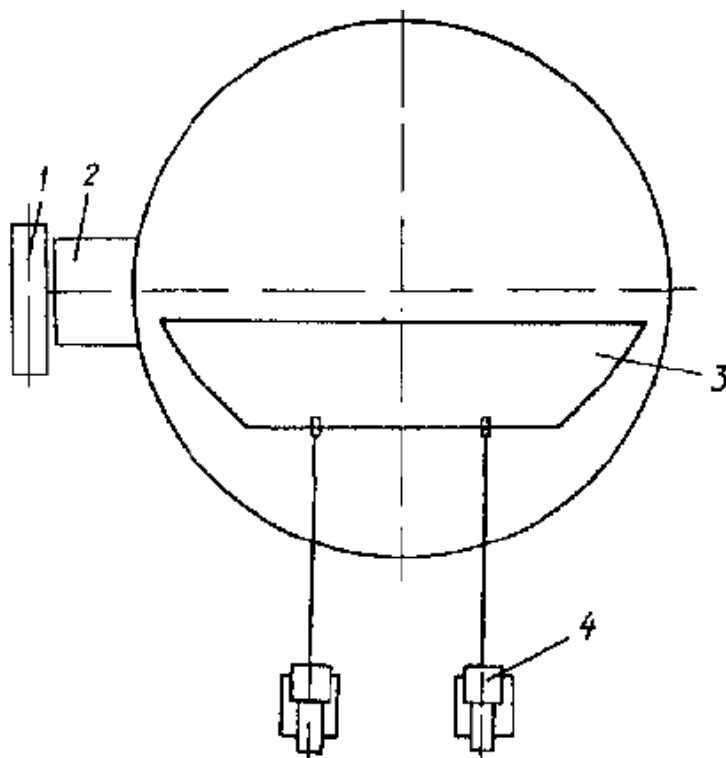


Рисунок 3 – Сварка при монтаже окраек днища: укладка оркаек с клиновидным зазором на остабщейся подкладке (а), сварка монтажного шва длиной 200...250 мм (б)

На втором этапе выполняют монтаж рулонированных полотнищ днища резервуара. С использованием крана ДЭК-631 и двух тракторов укладывают первое полотнище и разворачивают их в положение, близкое к проектному, как показано на рисунке 4. При помощи линейки и чертилки на

одном полотнище наносят риски на расстоянии 60 мм от края (величина нахлестки). По полученным рискам выполняют приварку ограничительных пластин на нижнем полотнище. Далее с использованием трактора перемещают верхнее полотнище до упора в ограничительные пластины. При этом необходимо обеспечить нахлест полотнищ на окрайки, который должен составлять 60...100 мм, как показано на рисунке 5. В местах пересечения листов с тройной нахлесткой следует выполнить поджим до совмещения кромок листов. Для этого верхний лист подогревают до 600...650 °С пламенем газовой горелки, поджим выполняют кувалдой.

После обеспечения нахлеста верхнего полотнища днища над нижним выполняют их сварку продольного стыка, недovarивая участок сварного шва длиной 800 мм в месте примыкания с листами окрайки. Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.



1 – полотнище в рулоне (исходное положение); 2 – пандус; 3 – полотнище после разворачивания; 4 – трактор

Рисунок 4 – Укладывание полотнищ днища в проектное положение

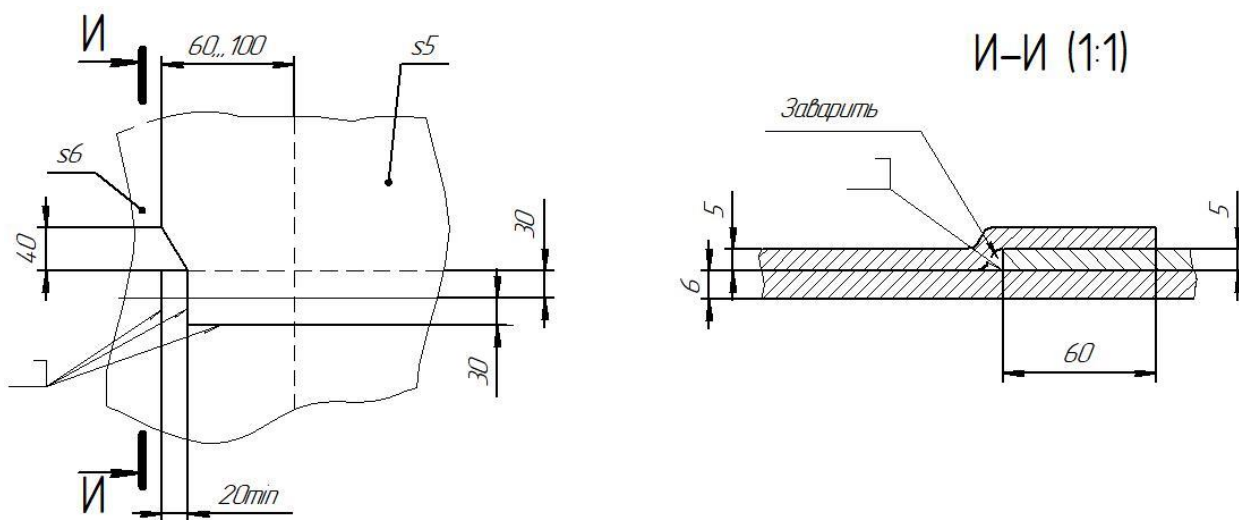


Рисунок 5 – Монтаж полотнищ центральной части днища на окрайки

На третьем этапе выполняют доварку оставшейся части стыковых соединений окрайки днища обратнo-ступенчатым способом, как показано на рисунке 6. При этом перекрывающий лист центральной части днища подгибают и устанавливают на специальные опоры-тумбы. После того, как стыки окраек были доварены, следует выполнить зачистку усиления шва заподлицо с основным металлом на участке перекрывания окрайки и центральной части днища.

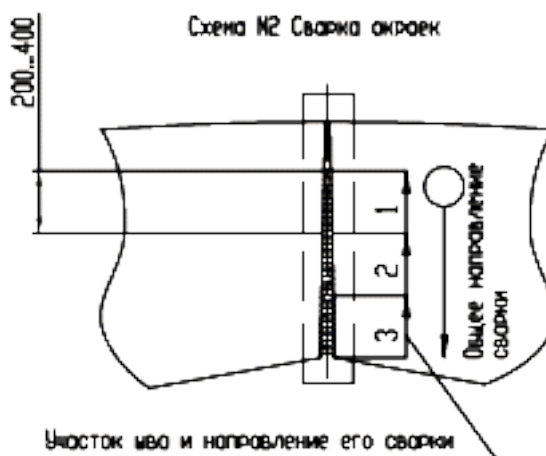


Рисунок 6 – Доварка стыка окраек

На четвёртом этапе выполняют сварку нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища кроме двух участков недоваров длиной

400 мм в каждую сторону от продольного шва, выполненного на втором этапе. Сварку ведут одновременно 4 сварщика, каждый заваривает свою четверть периметра нахлесточного шва (кроме участков недоваров). Сначала выполняют прихватки длиной 50 мм, усилением 4 мм и шагом 300 мм. При этом в зоне недоваров прихватки ставить не нужно, так как эти зоны выполняют роль компенсаторов усадки. После прихватки выполняют сварной шов, который должен быть выполнен не менее чем в два слоя.

Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

На пятом этапе выполняют сварку нахлесточного соединения окрайки и центральной части в местах недоваров, как показано на рисунке 7.

Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

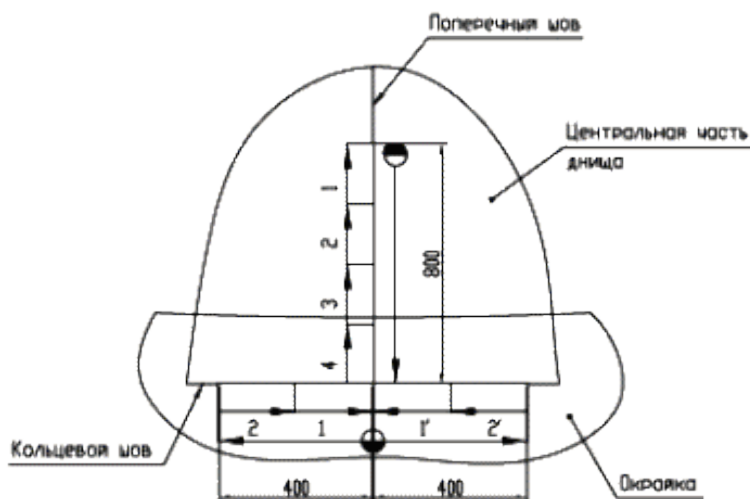


Рисунок 7 – Доварка кольцевого стыка и поперечного шва

При выполнении сварных швов применяется ручная дуговая сварка обратно-ступенчатым способом. Швы большой протяжённости разбиваются на участки длиной порядка 400 мм согласно рисунка 6, а швы малой протяжённости (800 мм и 400 мм при доварке) – на участки длиной 200 мм согласно рисунка 7. Сварку каждого участка ведут в направлении, обратном



общему направлению сварки. Это позволяет уменьшить остаточные напряжения и деформации, возникающие при сварке.

Сварку ведут электродами УОНИ 13/55 диаметром 3 мм. Ток сварки применяют 90...120 А. Сварку выполняют без предварительного подогрева на постоянном токе обратной полярности. Сварку выполняют с поперечными колебаниями на минимально «короткой» дуге.

Стыковой сварной шов при сварке окраек должен иметь не менее 2 слоёв. Если произошёл разрыв дуги, возбуждение дуги следует выполнять с перекрытием сварного шва 20 мм. В качестве источника питания применяется сварочный выпрямитель ВДУ-506, представленный на рисунке 8.



Рисунок 8 – Сварочный выпрямитель ВДУ-506

Выпуклость (усиление) стыковых швов днища должна составлять до 2 мм, поверхность сварных швов должна быть гладкой, без наплывов и резких переходов. Незаплавленные кратеры, поверхностные поры наплывы, задиры и шлаковые включения не допускаются.

После выполнения сварки следует очистить поверхность сварного шва от брызг, шлака и натёков металла. Запрещено удалять приваренные ранее монтажные приспособления отламыванием или сбиванием. Их удаление следует выполнять механическим способом или огневым способом, а остатки сварного шва следует зачистить заподлицо с основным металлом, при этом углубления в основном металле не допускаются.

При контроле сварных соединений применяются:

- внешний осмотр и измерение,
- испытание на непроницаемость керосином,
- рентгеновский контроль.

#### **1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных операций при изготовлении днища вертикального резервуара.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки днища используется ручная дуговая сварка покрытыми электродами.

Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

На основании вышеизложенного сформулируем задачи выпускной квалификационной работы, выполнение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- обоснование выбора способа сварки;
- повышение эффективности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемому изделию;
- составление проектной технологии сборки и сварки изделия.

Также в оценочном блоке будут выполнены следующие работы:

- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;
- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

## 2 Проектная технология сварки днища вертикального резервуара

### 2.1 Обоснование выбора способа сварки

Нормативная документация [16] указывает, что применение ручной дуговой сварки допустимо при изготовлении единичных резервуаров объёма до 5000 м<sup>3</sup>, однако рекомендовано применять автоматические и механизированные способы сварки. Таким образом, для монтажа днища резервуара объёмом 2000 м<sup>3</sup> из стали 09Г2С толщиной 5 и 6 мм могут быть использованы следующие способы сварки:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- механизированная сварка порошковой проволокой в защитном газе;
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов;
- механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой;
- автоматическая сварка под флюсом (соединение полотнищ днища);
- автоматическая сварка в защитных газах или самозащитной порошковой проволокой с использованием самоходных кареток (соединение полотнищ днища).

Ручная электродуговая сварка штучными электродами в настоящее время нашла широкое применение при выполнении коротких швов длиной в конструкциях со стыковыми, тавровыми и нахлесточными соединениями. Толщина свариваемого металла может быть 2...50 мм, при этом возможна сварка как без разделки кромок (для малых толщин), так и с разделкой кромок (для больших толщин). Также ручная дуговая сварка штучными электродами применяется при исправлении дефектов сварки, в том числе, и в сварных швах, выполненных другими способами сварки [3], [19].

В числе преимуществ ручной дуговой сварки штучными электродами следует отметить: простоту и дешевизну технологического оборудования,

составление технологии сварки не требует глубоких профессиональных знаний и метрологического обеспечения.

В настоящее время доля сварных конструкций, получаемых с применением ручной дуговой сварки штучными электродами, неуклонно снижается. Это объясняется недостатками, присущими способу сварки. В первую очередь, следует отметить малую производительность выполнения сварочных работ, в настоящее время ресурс повышения скорости сварки и наплавки штучными электродами за счёт назначения оптимальных режимов и сварочных материалов полностью выработан. Вторым недостатком следует признать работу сварщика в тяжёлых условиях, которые приводят к возникновению профессиональных заболеваний и заставляют увеличивать расходы на обеспечение безопасности персонала. Третьим недостатком следует признать низкую стабильность качества сварки, которая в значительной мере зависит от профессионализма и кондиции сварщика. Четвёртым недостатком следует признать повышенный расход электродного материала на угар и разбрызгивание, а также на огарки. Необходимость смены электродов не только приводит к увеличению расхода сварочных материалов, но и снижает производительность и качество сварочных работ.

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

Преимуществами сварки в углекислом газе и смеси защитных газов являются: высокая производительность сварки; улучшение условий труда сварщика по сравнению с ручной дуговой сваркой; практически полное отсутствие шлаковой корки; возможность сварки во всех пространственных положениях [14], [15].

Недостатками сварки в смеси защитных газов являются: ограничение мобильности сварщика из-за наличия газовых баллонов; повышенная вероятность образования трещин из-за низкой пластичности расплавленного

металла; ограничение производительности сварки из-за повышенного разбрызгивания электродного металла на форсированных режимах.

Значительные усилия исследователей направлены на повышение эффективности механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов посвящено большое количество работ [13]. Показано, что повышение качества и производительности сварки в защитных газах, расширение области её применения возможно при управляемом переносе расплавленного электродного металла в сварочную ванну.

Сварка самозащитными порошковыми проволоками сочетает в себе положительные свойства механизированной сварки в защитных газах и ручной дуговой сварки штучными электродами. Как показала практика использования сварки с применением порошковой самозащитной проволоки, внедрение этого прогрессивного способа сварки позволяет получить экономию легирующих металлов [18], [23]. Это объясняется значительно большим коэффициентом перехода легирующих элементов по сравнению со сваркой штучными электродами. Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика.

В настоящее время мировым производителем сварочных материалов («Lincoln Electric», «Hobart», «Elga», «ESAB», «Thyssen-Böhler», «Kobelco», «S.A.F.-Oerlicon»,) предлагается значительное количество порошковых проволок, которые предназначены для использования в широкой области.

Несмотря на преимущества сварки самозащитной порошковой проволокой, она обладает и существенными недостатками, ограничивающими область её применения. Во-первых, при сварке остаётся необходимость удаления шлаковой корки с поверхности шва. Во-вторых, высокая стоимость порошковой проволоки делает её применение в ряде случаев экономически невыгодным. В-третьих, из-за жидкотекучести шлака наблюдается сильное порообразование и возможность получения дефектов в

виде пор и шлаковых включений. В-четвёртых, следует отметить необходимость борьбы с заломками сварочной проволоки из-за её излишней мягкости. В-пятых неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки приводит к образованию шлаковых включений и пор.

При сварке под флюсом в результате нагрева от горячей между изделием и проволокой сварочной дуги образуется ванна расплавленного металла, которая защищается слоем шлака (расплавленного флюса). Этот слой не только обеспечивает газовую защиту расплавленного и перегретого металла от воздействия воздуха, но и устраняет разбрызгивание, повышает эффективность нагрева металла от сварочной дуги.

При автоматической сварке под флюсом производительность возрастает в 3...6 раз по сравнению с ручной дуговой сваркой. Повышение производительности объясняется повышенным сварочным током. Также при автоматической сварке под флюсом практически полностью устраняется разбрызгивание электродного металла, что также повышает производительность сварки.

Качество сварных соединений при автоматической сварке под флюсом также существенно выше. Применение флюса значительно уменьшает вредное воздействие сварочной дуги и выделяющихся при сварке газов на сварщика, что значительно улучшает условия труда.

Анализ рассмотренных способов сварки выполним с применением экспертной оценки по следующим критериям, представленным в таблице 3:

- производительность,
- качество сварных соединений,
- стоимость и сложность оборудования,
- стоимость сварочных материалов,
- условия труда сварщика,
- манёвренность способа сварки.

Таблица 3 – Экспертная оценка способов сварки по рассматриваемым критериям

Наименование способа сварки	Производительность	Качество	Стоимость оборудования	Стоимость материалов	Условия труда	Манёвренность способа
ручная дуговая сварка покрытыми электродами	1	1	5	3	1	5
механизированная сварка порошковой проволокой в защитном газе	4	3	2	2	3	2
механизированная сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов	2	4	3	5	4	3
механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой	3	2	4	1	2	4
автоматическая сварка под флюсом	5	5	1	4	5	1

Самую высокую экспертную оценку получил способ механизированной сварки проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смеси защитных газов. Этот способ и будем использовать для дальнейшего построения проектной технологии сварки.

## **2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения**

Эффективность механизированной сварки в защитных газах как технологического процесса в значительной мере зависит от типа плавления и переноса электродного металла. Характер переноса влияет на поведение сварочной дуги, определяя её технологические характеристики

(пространственную устойчивость, особенности металлургических реакций в сварочной ванне, тепловой баланс, угар и разбрызгивание). Также характер переноса электродного металла влияет на геометрию сварного шва, в частности, глубину проплавления [13].

В ходе многолетних исследований выявлено влияние параметров процесса сварки на тип переноса электродного металла, представленное наглядно на рисунке 9. В числе таких параметров следует выделить: полярность сварочного тока, форма его импульса, состав электродной проволоки и характер её подачи. Также на тип переноса металла оказывают влияние различные возмущения. Например, при импульсно-дуговой сварке из-за уменьшения напряжения сети возможен переход от мелкокапельного переноса без коротких замыканий к мелкокапельному переносу с короткими замыканиями [22]. Также на характер переноса электродного металла может оказывать влияние загрязнение поверхности сварочной проволоки и магнитное дутьё.

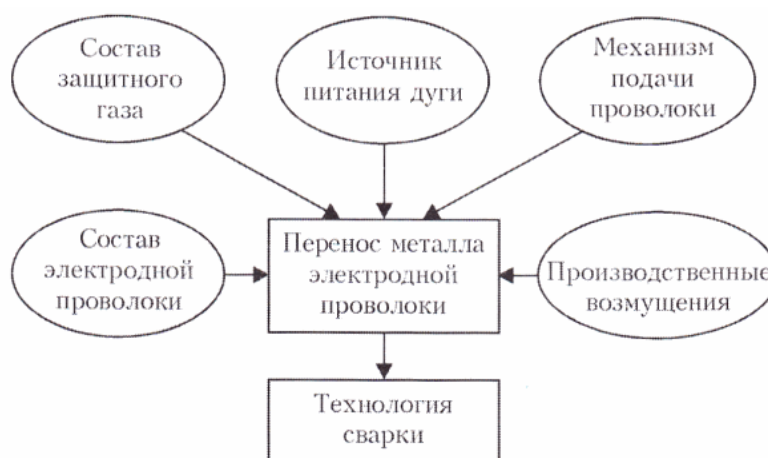


Рисунок 9 – Схема основных параметров сварочного процесса, воздействующих на перенос металла электрода

Управление плавлением электродного металла и его переноса в сварочную ванну может быть осуществлено множеством способов, на рисунке 10 представлены мировые производители сварочного оборудования, выпускающие источники питания с реализацией процесса переноса короткими замыканиями.



Особое место среди различных типов переноса электродного металла занимает управляемый импульсно-дуговой перенос [7], применение которого повышает эффективность сварочных процессов при сварке разнородных материалов, реализации переходных типов переноса металла, позволяет получать новые гибридные технологии сварки. На рисунке 11 представлена схема развития импульсно-дуговой сварки и области её применения.

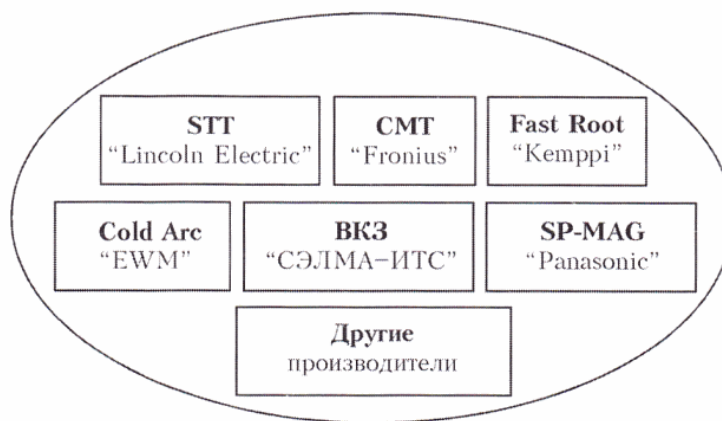
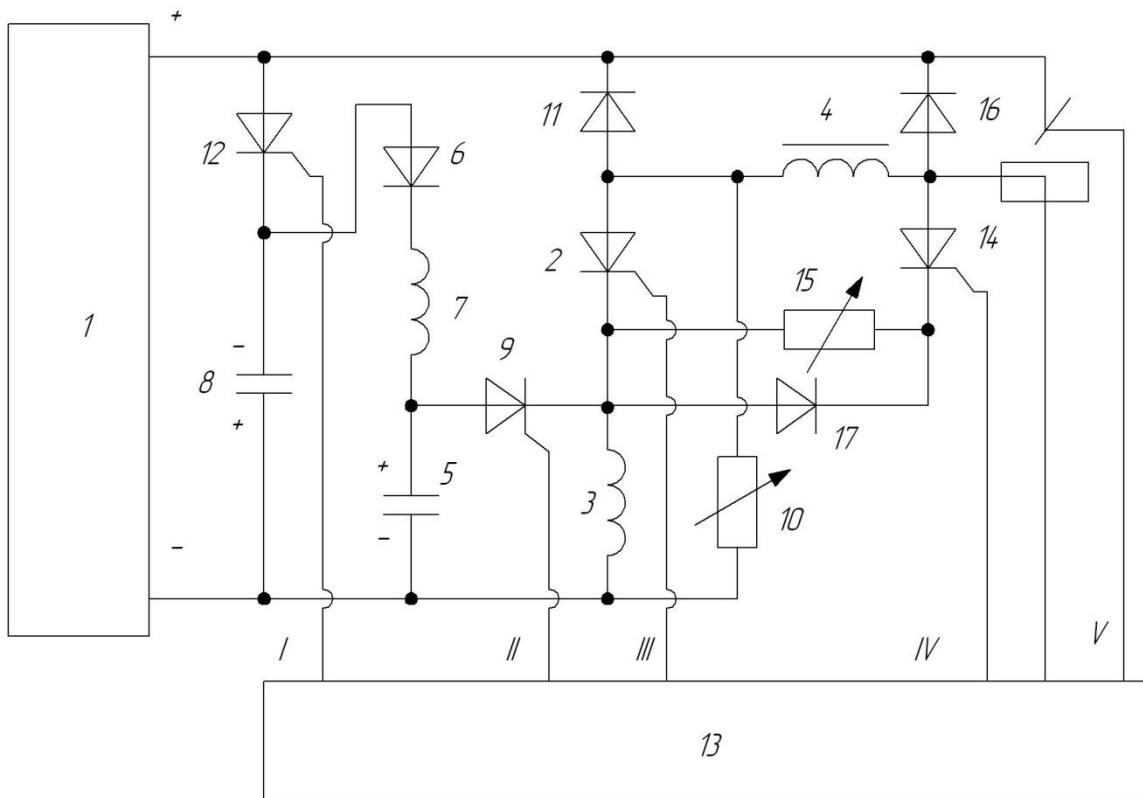


Рисунок 10 – Фирмы-производители оборудования для процесса сварки в защитных газах с короткими замыканиями

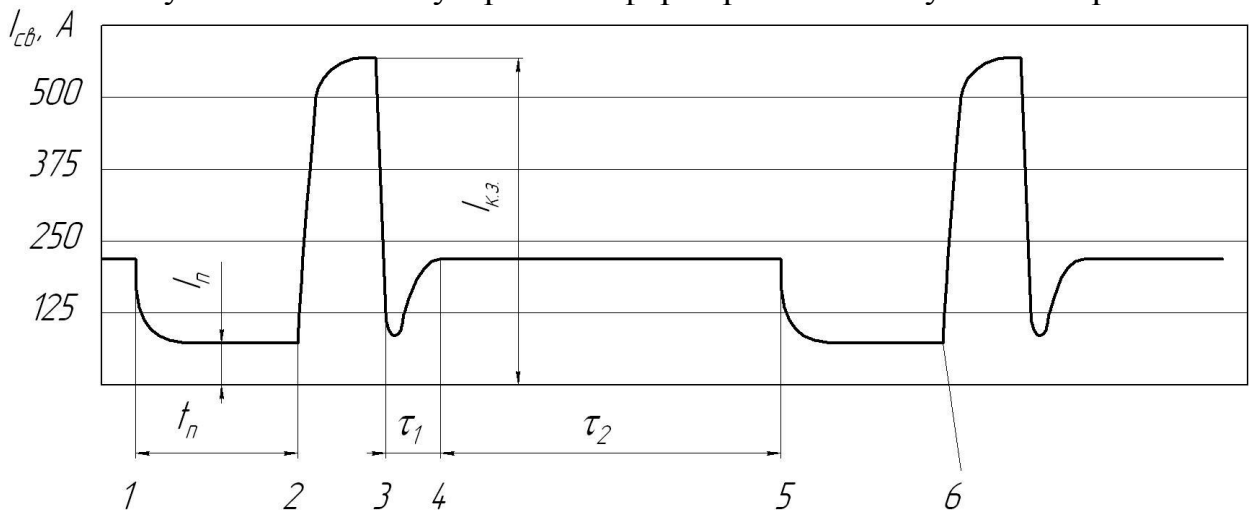


Рисунок 11 - Схема развития процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом (ИДСПЭ)



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

Рисунок 12 – Схема устройства формирования импульсов сварки



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

Рисунок 13 – Диаграмма тока по предлагаемому способу

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

Диаграмма импульсов тока представлена на рисунке 13.

Горение дуги с импульсным управлением позволяет [5], [8]:

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

### 2.3 Особенности выполнения операций по проектному технологическому процессу сборки и сварки днища вертикального резервуара

Для защиты сварочной ванны и перегретого металла применим газовую смесь (Ar 70% + CO<sub>2</sub> 30%), баллоны с которой представлены на рисунке 14-а.

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

Для сварки механизированной сварки (выполнение прихваток и швов малой протяжённости) применяется проволока сплошного сечения диаметром 1,14 мм марки L-56 производства Lincoln Electric, представленная на рисунке 14-б.

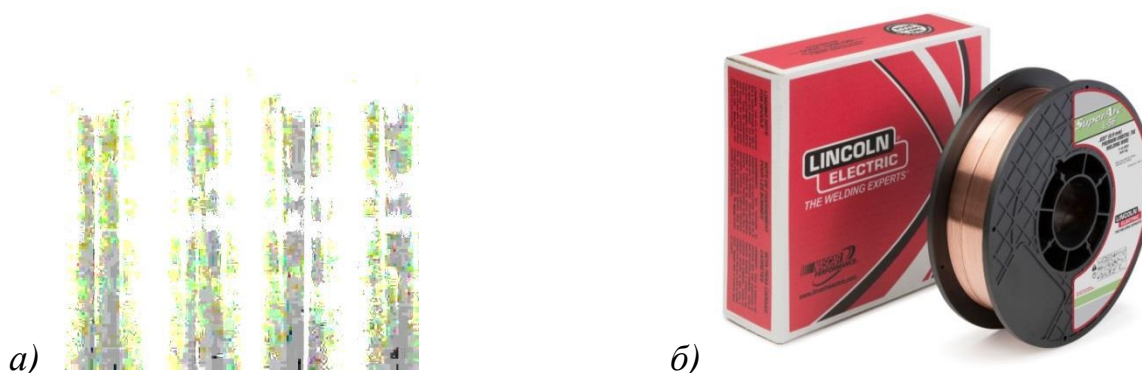


Рисунок 14 – Сварочные материалы: газовая смесь «Ar 70% + CO<sub>2</sub> 30%» (а) и сварочная проволока SuperArc L-56 (б)

Для сварки прямолинейного длиномерного шва при соединении полотнищ днища применим автомат АДФГ-305, представленный на рисунке 15, источник питания Powe Wave S500, представленный на рисунке 16. Для выполнения прихваток и сварки швов малой протяжённости применим источник питания Invertec STT-II и полуавтомат LF-33, представленные на рисунке 17.



Рисунок 15 – Автомат для сварки плавящимся электродом в защитных газах АДФГ-305



Рисунок 16 – Источник питания для автоматической сварки в защитном газе с импульсным управлением дугой Power Wave S500



Рисунок 17 – Источник питания Invertec STT-II с механизмом подачи проволоки LF-33

В процессе сварки проверяется:

- режим сварки;
- последовательность наложения швов;
- размеры накладываемых слоев шва и окончательные размеры шва;
- выполнение специальных требований, предписанных ПТД;
- наличие клейма сварщика на сварном соединении после окончания сварки.

Контроль качества сварных соединений стальных конструкций производится:

- внешним осмотром с проверкой геометрических размеров и формы швов в объеме 100 %;
- неразрушающими методами (радиографированием или ультразвуковой дефектоскопией) в объеме 100 % длины швов.

Результаты контроля качества сварных соединений стальных конструкций должны отвечать требованиям нормативной документации. Контроль размеров сварного шва и определение величины выявленных дефектов следует производить измерительным инструментом, имеющим точность измерения  $\pm 0,1$  мм, или специальными шаблонами для проверки геометрических размеров швов. При внешнем осмотре рекомендуется применять лупу с 5...10-кратным увеличением. При внешнем осмотре качество сварных соединений конструкций должно удовлетворять требованиям, представленным в таблице 4. Трещины всех видов и размеров в швах сварных соединений конструкций не допускаются и должны быть устранены с последующей заваркой и контролем.

Контроль швов сварных соединений конструкций неразрушающими методами следует проводить после исправления недопустимых дефектов, обнаруженных внешним осмотром.

Проектный технологический процесс варки днища вертикального резервуара предусматривает выполнение следующих операций: первая – сборка и частичная сварка кольца окраек, вторая – сборка рулонированных

полотнищ центральной части днища, третья – сварка продольного шва полотнищ, четвёртая – доварка стыковых соединений окраек, пятая – сварка нахлесточного соединения окраек и центральной части днища, шестая – сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища в местах недоваров.

Таблица 4 – Нормы оценки качества сварных соединений по результатам внешнего осмотра

Элементы соединений, дефекты	сварных наружные	Требования к качеству, допустимые размеры дефектов
Поверхность шва		Равномерно-чешуйчатая, без прожогов,наплывов, сужений и перерывов. Плавный переход к основному металлу
Подрезы		Глубина до 5% толщины свариваемого проката, но не более 1 мм
Дефекты удлиненные и сферические одиночные		Глубина до 10% толщины свариваемого проката, но не более 3 мм. Длина – до 20% длины оценочного участка
Дефекты удлиненные сферические в виде цепочки или скопления		Глубина до 5% толщины свариваемого проката, но не более 2 мм. Длина — до 20% длины оценочного участка. Длина цепочки или скопления – не более удвоенной длины оценочную участка
Дефекты (непровары, цепочки и скопления пор) соседние по длине шва		Расстояние между близлежащими концами — не менее 200 мм
Непровары, несплавления, цепочки и скопления наружных дефектов		Не допускаются

**Первая операция.** При сборке и сварке кольца окраек выполняют приварку с каждой торцевой стенки окрайки подкладной пластины шириной 50 мм и толщиной 4 мм. Соединение окрайки и пластины выполняют прихватками с шагом 150...200 мм длиной 50мм и усилением 3 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Ток сварки – 190...210 А, напряжение на дуге – 20...21 В, скорость сварки – 14...16 см/мин, вылет электрода – 15...28 мм. Окрайки собираются встык на остающейся подкладке. При сборке сохраняется клиновидный зазор, который расширяется к центру днища. Величина клиновидного зазора на периферии составляет 4 мм, а в центральной части – 8 мм. Смещение кромок в стыках

окраек не должно превышать 10 % от толщины. Зазор между крайкой и подкладной пластиной должен быть не более 1 мм. После укладки окраек необходимо выполнить их зачистку от ржавчины и других загрязнений на ширину 50 мм от стыка. Закрепление стыков окраек осуществляется с применением сборочных скоб и поперечных гребёнок. После сборки кольца окраек Стыки между крайками заваривают на длине 200...250 мм от наружной кромки. Сварку окраек одновременно ведут 4 сварщика, которые расположены напротив друг друга по окружности резервуара. По мере выполнения сварных швов эти сварщики перемещаются по часовой стрелке, согласно рисунку 18. Таким образом, каждый сварщик выполняет по два сварных стыковых шва. Сварку ведут в два слоя, параметры режима сварки первого слоя: ток сварки – 190...210 А, напряжение на дуге – 20...21 В, скорость сварки – 14...16 см/мин, вылет электрода – 15...28 мм; параметры режима второго слоя: ток сварки – 190...210 А, напряжение на дуге – 20...21 В, скорость сварки – 12...16 см/мин, вылет электрода – 12...20 мм.

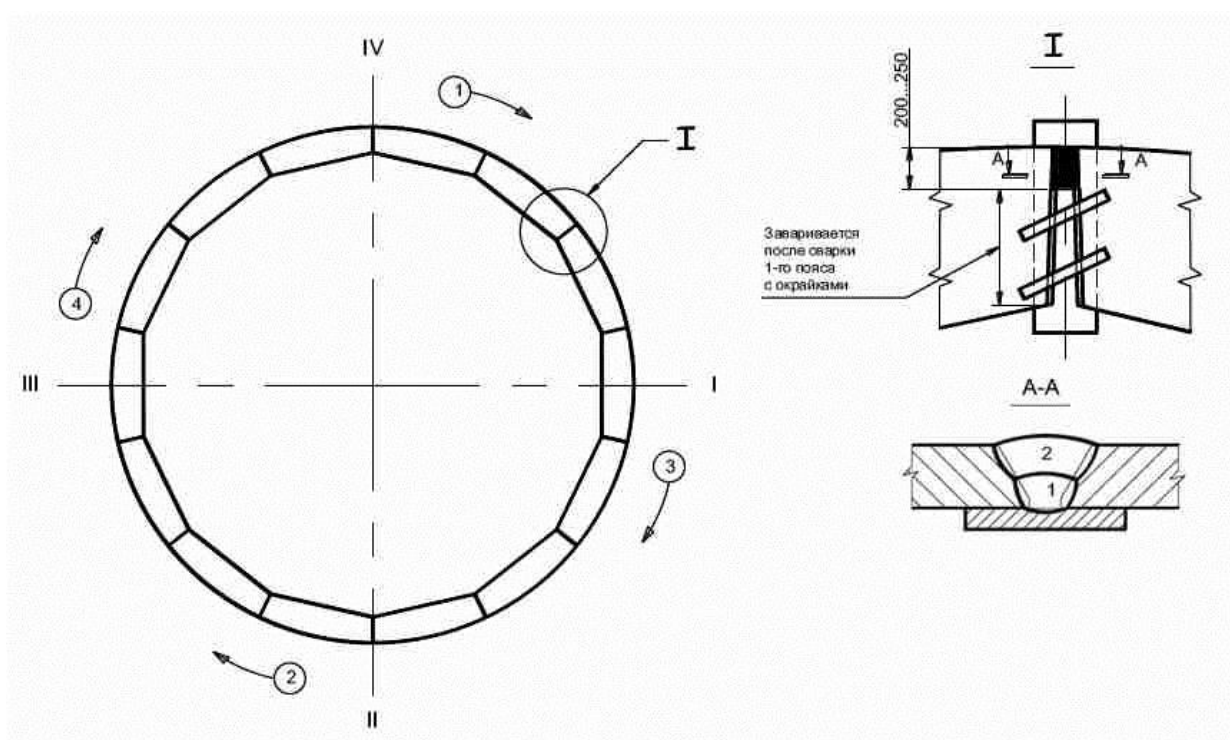


Рисунок 18 – Схема выполнения сварных швов кольца окраек



Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

При выполнении операции применяются: кран ДЭК-631, линейка металлическая, универсальный шаблон сварщика, рулетка, чертилка, угловая шлифовальная машинка, сборочные скобы, поперечные гребёнки, источник питания Invertec STT-II, механизм подачи проволоки LF-33, сварочная проволока SuperArc L-56  $\varnothing$  1,14 мм, защитный газ, аппарат рентгеновского контроля Эра-42.

**Вторая операция.** При сборке и рулонированных полотнищ центральной части днища при помощи крана ДЭК-631 укладывают полотнища на основание. При помощи двух тракторов с лебёдками полотнища укладывают в положение, близкое к проектному. При помощи чертилки на одном полотнище наносят риски на расстоянии 60 мм от его края. По рискам приваривают ограничительные пластины, параметры режима сварки ток сварки – 190...210 А, напряжение на дуге – 20...21 В, скорость сварки – 14...16 см/мин, вылет электрода – 15...28 мм. С использованием трактора перемещают верхнее полотнище до упора в ограничительные пластины. При этом необходимо обеспечить нахлест полотнищ на окрайки, который должен составлять 60...100 мм. В местах пересечения листов с тройной нахлесткой следует выполнить поджим до совмещения кромок листов. Для этого верхний лист подогревают до 600...650 °С пламенем газовой горелки, поджим выполняют кувалдой.

После укладки полотнищ выполняют их прихватку. Прихватку ведут на постоянном токе обратной полярности. Ток сварки – 210...250 А, напряжение на дуге – 24...26 В, скорость сварки – 24...26 см/мин, вылет электрода – 15...20 мм. Длина прихватки 50...70 мм, усиление 3 мм, шаг между прихватками 300...400 мм, на расстоянии 800 мм с каждой стороны от начала шва прихватки не ставить.

При выполнении операции применяются: кран ДЭК-631, линейка металлическая, чертилка, трактор с лебёдкой, газовая горелка, кувалда, источник питания Invertec STT-II, механизм подачи проволоки LF-33, сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, защитный газ.

**Третья операция.** После сборки полотнищ выполняют их автоматическую сварку по всей длине, не доваривая участок длиной 800 мм с каждой стороны в месте примыкания к листам окрайки. Для сварки применяется автомат для сварки плавящимся электродом в защитных газах АДФГ-305 и источник питания Power Wave S500. Сварку ведут в два слоя. Параметры режима первого слоя: ток сварки – 210...250 А, напряжение на дуге – 24...26 В, скорость сварки – 24...26 см/мин, вылет электрода – 15...20 мм, скорость подачи проволоки – 3,5...4,4 м/мин. Параметры режима второго слоя: ток сварки – 190...230 А, напряжение на дуге – 22...24 В, скорость сварки – 15...20 см/мин, вылет электрода – 10...15 мм, скорость подачи проволоки – 3,2...4,0 м/мин.

Первый слой нахлесточного шва выполняют от середины шва к концам обратно-ступенчатым способом, длина ступени составляет 700...1000 мм. Второй слой выполняют от середины к концу.

Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

При выполнении операции применяются: автомат для сварки плавящимся электродом в защитных газах АДФГ-305, источник питания Power Wave S500, сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, защитный газ, аппарат рентгеновского контроля Эра-42.

**Четвёртая операция.** При доварке стыковых соединений окрайки сварной шов выполняют в два слоя. Параметры режима сварки первого слоя: ток сварки – 190...210 А, напряжение на дуге – 20...21 В, скорость сварки – 14...16 см/мин, вылет электрода – 15...28 мм; параметры режима второго слоя: ток сварки – 190...210 А, напряжение на дуге – 20...21 В, скорость

сварки – 12...16 см/мин, вылет электрода – 12...20 мм. Сварку ведут обратно-ступенчатым способом.

Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

При выполнении операции применяются: источник питания Invertec STT-II, механизм подачи проволоки LF-33, сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, защитный газ.

Сварку окраек одновременно ведут 4 сварщика, которые расположены напротив друг друга по окружности резервуара. По мере выполнения сварных швов эти сварщики перемещаются по часовой стрелке. Таким образом, каждый сварщик выполняет по два сварных стыковых шва. перекрывающий лист центральной части днища подгибают и устанавливают на специальные опоры-тумбы. После того, как стыки окраек были доварены, следует выполнить зачистку усиления шва заподлицо с основным металлом на участке перекрывания окрайки и центральной части днища.

Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

При выполнении операции применяются: кран ДЭК-631, угловая шлифовальная машинка, опоры-тумбы, источник питания Invertec STT-II, механизм подачи проволоки LF-33, сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, защитный газ, универсальный шаблон сварщика, аппарат рентгеновского контроля Эра-42.

**Пятая операция.** При сварке нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища. Сначала выполняют прихватки длиной 50 мм, усилением 4 мм и шагом 300 мм. При этом в зоне недоваров прихватки ставить не нужно, так как эти зоны выполняют роль компенсаторов усадки. Параметры режима выполнения прихваток: ток сварки – 210...250 А,

напряжение на дуге – 24...26 В, скорость сварки – 24...26 см/мин, вылет электрода – 15...20 мм.

После прихватки выполняют сварной шов, который должен быть выполнен в два слоя. Параметры режима первого слоя: ток сварки – 210...250 А, напряжение на дуге – 24...26 В, скорость сварки – 24...26 см/мин, вылет электрода – 15...20 мм, скорость подачи проволоки – 3,5...4,4 м/мин. Параметры режима второго слоя: ток сварки – 190...230 А, напряжение на дуге – 22...24 В, скорость сварки – 15...20 см/мин, вылет электрода – 10...15 мм, скорость подачи проволоки – 3,2...4,0 м/мин.

Сварку ведут обратно-ступенчатым способом с длиной ступени 400...700 мм одновременно 4 сварщика, расположенные в противоположных зонах днища.

Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

При выполнении операции применяются: угловая шлифовальная машинка, опоры-тумбы, источник питания Invertec STT-II, механизм подачи проволоки LF-33, сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, защитный газ, универсальный шаблон сварщика, аппарат рентгеновского контроля Эра-42.

**Шестая операция.** При сварке нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища в местах недоваров выполняют сначала сварку нахлесточного шва полотниц центральной части днища обратно-ступенчатым способом от середины к краю. Потом выполняют сварку нахлесточного шва окрайки и центральной части днища обратно-ступенчатым способом от центра к краям.

Сварной шов, который должен быть выполнен в два слоя. Параметры режима первого слоя: ток сварки – 210...250 А, напряжение на дуге – 24...26 В, скорость сварки – 24...26 см/мин, вылет электрода – 15...20 мм, скорость подачи проволоки – 3,5...4,4 м/мин. Параметры режима второго слоя: ток

сварки – 190...230 А, напряжение на дуге – 22...24 В, скорость сварки – 15...20 см/мин, вылет электрода – 10...15 мм, скорость подачи проволоки – 3,2...4,0 м/мин.

Сварку ведут обратно-ступенчатым способом с длиной ступени 200 мм. Качество выполненных участков сварных швов по всей длине контролируют визуально-измерительным контролем и при помощи радиографии.

При выполнении операции применяются: угловая шлифовальная машинка, опоры-тумбы, источник питания Invertec STT-II, механизм подачи проволоки LF-33, сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, защитный газ, универсальный шаблон сварщика, аппарат рентгеновского контроля Эра-42.

После выполнения сварки следует очистить поверхность сварного шва от брызг, шлака и натёков металла. Запрещено удалять приваренные ранее монтажные приспособления отламыванием или сбиванием. Их удаление следует выполнять механическим способом или огневым способом, а остатки сварного шва следует зачистить заподлицо с основным металлом, при этом углубления в основном металле не допускаются.

### **Выводы по второму разделу**

При анализе возможных способов сварки днища вертикального резервуара были рассмотрены:

- ручная дуговая сварка покрытыми электродами;
- механизированная сварка порошковой проволокой в защитном газе;
- механизированная сварка проволокой сплошного сечения в углекислом газе или смесях защитных газов;
- механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой;
- автоматическая сварка под флюсом (соединение полотнищ днища);

- автоматическая сварка в защитных газах или самозащитной порошковой проволокой с использованием самоходных кареток (соединение полотнищ днища).

На основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе сварки проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Для повышения эффективности сварки предложено применять импульсное управление горением дуги. Для сварки длинномерного прямолинейного шва при соединении полотнищ днища предложено использовать применим автомат АДФГ-305 и источник питания Powe Wave S500. Для выполнения остальных швов и прихватки предложено использовать источник питания Invertec STT-II и полуавтомат LF-33.

Проектный технологический процесс варки днища вертикального резервуара предусматривает выполнение следующих операций:

- сборка и частичная сварка кольца окроек;
- сборка рулонированных полотнищ центральной части днища;
- сварка продольного шва полотнищ;
- доварка стыковых соединений окрайки;
- сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища;
- сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища в местах недоваров.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал. Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии сварки рассматриваемой конструкции.

### **3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности выполнения сварочных работ при строительстве резервуарного парка.

Проектная технология сварки днища резервуара предусматривает выполнение следующих операций:

- сборка и частичная сварка кольца окраек;
- сборка рулонированных полотнищ центральной части днища;
- сварка продольного шва полотнищ;
- доварка стыковых соединений окрайки;
- сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища;
- сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища в местах недодаров.

Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартным средств и мероприятий.

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

На основании анализа данных таблицы 5 может быть выполнена идентификация опасных производственных факторов, которые сопровождают каждую операцию технологического процесса.

Таблица 5 – Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1	2	3	4
1) сборка и частичная сварка кольца окраек	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Invertec STT-II, - механизм подачи проволоки LF 33, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, - защитный газ, - рулетка, - чертилка, - сборочные скобы, - поперечные гребёнки
2) сборка рулонированных полотнищ центральной части днища	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Invertec STT-II, - механизм подачи проволоки LF 33, - угловая шлифовальная машинка - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, - рулетка, - чертилка, - упоры приварные
3) сварка продольного шва полотнищ	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Invertec STT-II, - механизм подачи проволоки LF 33, - угловая шлифовальная машинка - набор визуально-измерительного контроля	- сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, - защитный газ
4) доварка стыковых соединений окрайки	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Invertec STT-II, - механизм подачи проволоки LF 33, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля, - опора-тумба	- сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, - защитный газ
5) сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания Invertec STT-II, - механизм подачи проволоки LF 33, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42	- сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, - защитный газ



Продолжение таблицы 5

1	2	3	4
б) сварка нахлесточного соединения крайки и центральной части днища в местах недоваров	- электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, - дефектоскопист, - слесарь-сборщик	- источник питания ВДУ-506, - угловая шлифовальная машинка, - набор визуально-измерительного контроля, - аппарат рентгеновского контроля Эра 42	- сварочная проволока SuperArc L-56 Ø 1,14 мм, - защитный газ

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса, что отражено в таблице 6.

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

Таким образом, выделено восемь негативных производственных факторов:

- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования,
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования,
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека,

- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений,
- радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.

Таблица 6 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1) сборка и частичная сварка кольца окраек	<ul style="list-style-type: none"> <li>- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;</li> <li>- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;</li> <li>- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>- опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги;</li> <li>- инфракрасное излучение;</li> <li>- ультрафиолетовое излучение,</li> <li>- радиоактивное излучение</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- источник питания ,</li> <li>- механизм подачи проволоки,</li> <li>- аппарат рентгеновского контроля,</li> <li>- машинка угловая шлифовальная</li> </ul>
2) сборка рулонированных полотнищ центральной части днища		<ul style="list-style-type: none"> <li>- источник питания ,</li> <li>- механизм подачи проволоки,</li> <li>- машинка угловая шлифовальная</li> </ul>
3) сварка продольного шва полотнищ		<ul style="list-style-type: none"> <li>- источник питания ,</li> <li>- механизм подачи проволоки,</li> <li>- машинка угловая шлифовальная</li> </ul>
4) доварка стыковых соединений окрайки		<ul style="list-style-type: none"> <li>- источник питания ,</li> <li>- механизм подачи проволоки,</li> </ul>
5) сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища		<ul style="list-style-type: none"> <li>- аппарат рентгеновского контроля,</li> <li>- машинка угловая шлифовальная</li> </ul>
6) сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища в местах недоваров		

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 7 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; 2) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; 2) применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) организация защитного заземления; 2) проведение периодического инструктажа по технике безопасности; 3) периодический контрольный замер изоляции; 4) периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; 2) механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) применение защитных экранов; 2) применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда
8) радиоактивное излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	1) размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; 2) уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	Спецодежда

На основании идентифицированных профессиональных рисков, возникающих при реализации проектной технологии, возможен последующий их анализ и выработка решений по их снижению до приемлемого уровня, приведённые в таблице 7.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара, приведённых в таблице 8, позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 9.

Таблица 8 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

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

Таблица 9 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Нет необходимости
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.	Кнопка оповещения

Таблица 10 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для сборки и сварки (механизированная сварка)	Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий, представленных в таблице 10. Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных

факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности

Таблица 11 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Сборка и сварка (механизованная и автоматическая сварка)	Подготовительная операция, сборочная операция, операция сварки стыка, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения сварочной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 12 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных

и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблице 11 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов, сведённые в таблицу 12.

### **Выводы по экологическому разделу**

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки днища резервуара.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки с применением механизированной сварки в среде защитных газов позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

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

## **4 Оценка экономической эффективности проектной технологии**

### **4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений**

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности сварки днища резервуара при строительстве резервуарных парков.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций: первая – сборка и частичная сварка кольца окраек, вторая – сборка рулонированных полотнищ центральной части днища, третья – сварка продольного шва полотнищ, четвёртая – доварка стыковых соединений окрайки, пятая – сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища, шестая – сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища в местах недоваров.

При выполнении базовой технологии сварки применяется ручная дуговая сварка штучными электродами. В проектной технологии предложено ручную дуговую сварку заменить на механизированную сварку проволокой сплошного сечения в защитном газе.

Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

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

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблице 13.



Таблица 13 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	$P_p$	-	V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{об}$	Руб.	1100 тыс.	1700 тыс.
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	12	20
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_{а}$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	$S$	$m^2$	700	700
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	$P/m^2$	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33

Представленные в таблице 13 исходные данные для выполнения расчётов по проектной и базовой технологиям позволяют в дальнейшем оценить технологическую себестоимость проектного и базового варианта, капитальные затраты по вариантам технологии и рассчитать показатели экономической эффективности.

#### 4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд

времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных согласно таблице 13: суммарное число рабочих дней в календарном году  $D_p = 277$  дней, длительность рабочей смены  $T_{см} = 8$  часов, количество предпраздничных дней  $D_{п} = 7$  дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни  $T_{п} = 1$  час, принятое для рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен  $K_{см} = 1$ . Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

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

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

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

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

$$F_{э} = F_{н} (1 - B/100). \quad (2)$$

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

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

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время  $t_{шт}$  является суммой затрат

времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени  $t_{\text{маш}}$ ; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени  $t_{\text{всп}}$ ; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования)  $t_{\text{обсл}}$ ; времени  $t_{\text{отд}}$  на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного времени  $t_{\text{п-з}}$ :

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

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

$$t_{\text{шт.баз}} = 50 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 90 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 30 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 50 \text{ ч.}$$

Годовая программа  $\Pi_{\Gamma}$  выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени  $F_{\text{э}}$  и согласно (3) штучного времени  $t_{\text{шт}}$ :

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{\text{шт}}. \quad (4)$$

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

$$\Pi_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/90 = 22 \text{ днища за год;}$$

$$\Pi_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/50 = 41 \text{ днище за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы  $\Pi_{\Gamma} = 15$  днищ в год.

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

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

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

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{90 \cdot 16}{2054 \cdot 1,03} = 0,6, \quad n_{РАСЧ.ПР} = \frac{50 \cdot 15}{2054 \cdot 1,03} = 0,4.$$

Необходимое количество оборудования  $n_{пр}$ , которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ( $n_{пр} = 1$ ). Коэффициент  $K_3$  загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

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

$$K_{3б} = 0,6/1 = 0,6, \quad K_{3п} = 0,4/1 = 0,4.$$

#### **4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии**

Выполнение дуговой сварки предусматривает расходование сварочных материалов. При ручной дуговой сварке расходным материалов будут сварочные штучные электроды. При механизированной сварке в среде защитных газов проволокой сплошного сечения расходными материалами будут защитный газ и сварочная проволока.

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

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

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

$$M_b = (335 \cdot 110 + 148) \cdot 1,05 = 38848 \text{ руб.},$$

$$M_{пр} = (178 \cdot 120 + 30 \cdot 400) \cdot 1,05 = 35028 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$Z_{осн.баз.} = 90 \cdot 200 \cdot 1,88 = 33840 \text{ руб.},$$

$$Z_{осн.проектн.} = 50 \cdot 200 \cdot 1,88 = 18800 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$Z_{доп.базов.} = 33840 \cdot 12 / 100 = 4060 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп.проектн.} = 18800 \cdot 12 / 100 = 2260 \text{ руб.}$$

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

$$\Phi ЗП_{базов..} = 33840 + 4060 = 37900 \text{ руб.},$$

$$\Phi ЗП_{проектн.} = 18800 + 2260 = 21060 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$O_{\text{сс баз.}} = 37900 \cdot 34 / 100 = 12890 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сс проектн.}} = 21060 \cdot 34 / 100 = 7160 \text{ руб.}$$

Затраты  $Z_{\text{об}}$  на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат  $A_{\text{об}}$  на амортизацию и  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию:

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

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

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

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

$$A_{\text{об. баз.}} = 1100000 \cdot 21,5 \cdot 50 / 2054 / 100 = 5757 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 1700000 \cdot 21,5 \cdot 30 / 2054 / 100 = 5338 \text{ руб.}$$

Расходы  $P_{\text{эз}}$  на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования  $M_{\text{уст}}$ , цены электрической энергии  $C_{\text{эз}}$  для предприятий, машинного времени  $t_{\text{маш}}$  и КПД оборудования:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э-э}}}{\text{КПД}} \quad (13)$$

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{ээ баз}} = 50 \cdot 12 \cdot 3,2 / 0,7 = 2740 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 30 \cdot 20 \cdot 3,2 / 0,85 = 2260 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{об баз.}} = 5757 + 2740 = 8497 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{об проектн.}} = 5338 + 2260 = 7598 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость  $C_{\text{тех}}$  рассчитывается как сумма затрат на материалы  $M$ , фонда заработной платы  $\Phi ЗП$ , отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$  и затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$ :

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

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

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 38847 + 37900 + 12890 + 8497 = 98134 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 25028 + 21060 + 7160 + 7598 = 70846 \text{ руб.}$$

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

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

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



$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 98134 + 1,5 \cdot 33840 = 98134 + 50760 = 148894 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 70846 + 1,5 \cdot 18800 = 70846 + 28200 = 99046 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 148894 + 1,15 \cdot 33840 = 148894 + 38920 = 187814 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 99046 + 1,15 \cdot 18800 = 99046 + 21620 = 120666 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 14.

Таблица 14 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	$M$	38847	35028
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	37900	21060
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{\text{СН}}$	12890	7160
4. Затраты на оборудование	$Z_{\text{об}}$	8497	7598
5. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	98134	70846
6. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	50760	28200
7. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	10795	6171
8. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	38920	21620
9. Заводская себестоимость	$C_{\text{зав}}$	187814	120666

Таким образом, на основании данных таблицы 14 можно заключить, что внедрение проектной технологии позволяет значительно уменьшить затраты и себестоимость сварки.

#### 4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

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

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

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

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

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

$$\Pi_{\text{ОБ.Баз.}} = 1100000 - (1100000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 627000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 627000 \cdot 0,6 = 376200 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты  $K_{\text{общ. пр.}}$  для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование  $K_{\text{об. пр.}}$ , вложений в производственные площади  $K_{\text{пл. пр.}}$ , сопутствующих вложений  $K_{\text{соп.}}$ :

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

Капитальные вложения  $K_{\text{об. пр.}}$  в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования  $\Pi_{\text{об. пр.}}$ , коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{\text{тз}}$  и коэффициента загрузки оборудования  $K_{\text{зп}}$  по проектному варианту:

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

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

$$K_{\text{об.пр.}} = 1700000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 714000 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения  $K_{\text{соп.}}$  по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  базового оборудования и расходов на монтаж  $K_{\text{монт}}$  проектного оборудования:

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

Расходы на демонтаж  $K_{\text{дем}}$  и монтаж  $K_{\text{монт}}$  рассчитываем с учётом стоимости оборудования  $Ц_{\text{б}}$  и  $Ц_{\text{пр}}$  по базовому и проектному вариантам, коэффициентов  $K_{\text{д}}$  и  $K_{\text{м}}$  на демонтаж и монтаж оборудования:

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

$$K_{\text{монт}} = Ц_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

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

$$K_{\text{дем}} = 1100000 \cdot 0,05 = 55000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 1700000 \cdot 0,05 = 85000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 55000 + 85000 = 140000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ.пр}} = 714000 + 140000 = 854000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения  $K_{\text{доп}}$  рассчитываем исходя из капитальных затрат  $K_{\text{общ.пр.}}$  и  $K_{\text{общ.б.}}$  для проектного и базового вариантов технологии:

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

$$K_{\text{доп}} = 854000 - 376200 = 477800 \text{ руб.}$$

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

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{\Pi_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 376200/15 = 25080 \text{ руб./ед.};$$

$$K_{удПроектн.} = 854000/15 = 56933 \text{ руб./ед.}$$

#### 4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени  $t_{шт.б.}$  и  $t_{шт.пр.}$  по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПр}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = \frac{90 - 50}{90} \cdot 100\% = 44\%$$

Расчёт повышения производительности труда  $\Pi_T$  при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости  $\Delta t_{шт}$ :

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad (27)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 44}{100 - 44} = 78\%$$

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

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{98134 - 70846}{98134} \cdot 100\% = 27\%$$

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

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

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

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (187814 - 120666) \cdot 15 = 1007220 \text{ руб.}$$

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

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

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

$$T_{\text{ок}} = 477800 / 1007220 = 0,5 \text{ года}$$

Годовой экономический эффект  $\text{Э}_{\Gamma}$ , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

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

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

$$\text{Эг} = 1007220 - 0,33 \cdot 477800 = 849546 \text{ руб.}$$

### **Выводы по экономическому разделу**

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется ручная дуговая сварка. Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

Проектный вариант технологии предполагает использование механизированной сварки в защитном газе проволокой сплошного сечения. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения сварочных работ.

Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов сварки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 44 %, повышение производительности труда на 78 %, уменьшение технологической себестоимости на 27 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1007 тыс. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 850 тыс. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,5 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

## Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности сварочных операций при монтаже днища вертикального стального резервуара.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки применяется ручная дуговая сварка. Недостатки применения ручной дуговой сварки штучными электродами: малая производительность выполнения сварочных работ, работа сварщика в тяжёлых условиях, низкая стабильность качества сварки, повышенный расход электродного материала на разбрызгивание и огарки.

Анализ преимуществ и возможных способов сварки позволил обосновать замену ручной дуговой сварки штучными электродами на механизированную сварку проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Технология предусматривает последовательное выполнение операций: первая – сборка и частичная сварка кольца окраек, вторая – сборка рулонированных полотнищ центральной части днища, третья – сварка продольного шва полотнищ, четвёртая – доварка стыковых соединений окрайки, пятая – сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища, шестая – сварка нахлесточного соединения окрайки и центральной части днища в местах недоваров.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 850 тыс. рублей. Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели. Полученные результаты предлагается внедрить при строительстве резервуарных парков.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1310140 СССР, МПК В 23 К 9/09. Способ дуговой сварки с короткими замыканиями дугового промежутка и устройство для его осуществления / Заруба И. И., Сараев Ю. Н., Князьков А. Ф., Тимченко А. К. № 4017219/31-27, заявл. 16.12.85; опубл. 15.05.87, Бюл. № 18. 5 с.
2. Алёшкина А. А., Бурков П. В., Буркова С. П. Исследование состояния днища резервуаров вертикальных стальных // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 7. С. 92–98.
3. Белинский С. М., Гарбуль А. Ф., Гусаковский В. Г. Оборудование для дуговой сварки : справ. пособие. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 656 с.
4. Бурков П. В., Буркова С. П., Тимофеев В. Ю. Исследование состояния днища вертикального стального резервуара, анализ методик диагностики его состояния и выявления причин его деформации // Технология машиностроения. 2013. № 11. С. 79–81.
5. Верёвкин А. А. Повышение эффективности сварки в  $\text{CO}_2$  неповоротных стыков магистральных трубопроводов за счет применения импульсного питания сварочной дуги : диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Барнаул: Томский политехнический университет. 2010.
6. 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.
7. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48-52.
8. Крампит А. Г. Разработка и исследование процесса сварки в  $\text{CO}_2$  в щелевую разделку при импульсном питании : диссертация на соискание



учёной степени доктора технических наук, Юрга: Томский политехнический университет. 2003.

9. Кондрашова О. Г., Назарова М. Н. Причино-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело. 2004. № 2. С. 21–29.

10. ПБ 03-605-03 Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов

11. Пермяков М. Б., Мышинский М. И. Повышение длительных эксплуатационных свойств металла зон сварных тавровых соединений большепролётных подкрановых балок // European Science. № 2 С. 17–20.

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

13. 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.

14. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнология, 2007. 192 с.

15. Предельский В. А., Харченко В. Я., Черногоров А. Л., Тихонов С. В. О выявлении трещиноподобных дефектов сварки существующими методами контроля качества // Advanced Engineering Research. 2021. № 1. С. 89–95.

16. РД 25.160.10-КТН-001-12 Инструкция по технологии сварки при строительстве и ремонте стальных вертикальных резервуаров. 2011. 216 с.

17. РД 39-138-95. Нормы технологического проектирования резервуарных парков СУГ М. : Роснефть, 1995. 149 с.

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

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

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

21. Швырков С. А., Горячев С. А., Сорокоумов В. П. Статистика квазимгновенных разрушений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Пожаровзрывобезопасность. 2007. № 6. С. 48–52.

22. Шейко П. П., Жерносеков А. М., Шимановский Ю. О. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов // Автоматическая сварка. 2004. № 1. С. 8–11.

23. 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.

24. Chernyshova E. P., Permyakov M. B. Architectural town-planning factor and color environment // World Applied Sciences Journal. 2013. № 4. P. 437–443.

25. Chernyshova E. P., Permyakov M. B. Architectural Town-Planning Factor and Color Environment // World Applied Sciences Journal. 2017. № 7. P. 371–384.

26. Wilson D. V., Tromans T. K. Effect of strain aging on fatigue damage in low-carbon steel // Acta Metallurgica. 1970. vol. 18. P. 1197–1208.