



## АННОТАЦИЯ

Цель настоящей работы – повышение производительности при сварке окраек вертикального резервуара. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) выбран перспективный способ сварки, повышена его эффективность применительно к рассматриваемой конструкции;
- 2) произведен обзор и выбор сварочных материалов и сварочного оборудования, установлены параметры режима сварки;
- 3) составлена проектная технология сварки технологического трубопровода с использованием предлагаемого способа сварки и выбранных сварочных материалов и технологического оборудования;
- 4) произведен экологический анализ предложенных технологических решений на предмет возможной опасности для окружающей среды и работающего персонала;
- 5) произведена экономическая оценка предлагаемых технических решений на предмет эффективности их внедрения в производство.

Пояснительная записка содержит \_\_52\_\_ стр., \_\_8\_\_ рисунков, \_12\_ таблиц.

Анализ базового технологического процесса сварки показал, что присущие ему недостатки обусловлены низким уровнем механизации и автоматизации процесса сварки.

Часть стыков предложено выполнять в стационарных условиях механизированным способом и с применением разработанного приспособления. Разработан технологический процесс механизированной сварки с применением проволоки сплошного сечения.

Для защиты персонала от вредных факторов предложены соответствующие технические и организационные мероприятия.

Проведена экономическая оценка проекта.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ исходных данных и известных технических решений .....	6
1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации .....	6
1.2 Описание свойств материала днища .....	10
1.3 Анализ возможных способов сварки днища .....	12
1.4 Задачи работы.....	18
2 Разработка технологического процесса сварки окраек.....	20
2.1 Анализ возможных способов дуговой сварки окраек.....	20
3 Оборудование и приспособления .....	23
4 Безопасность и экологичность проекта. ....	25
4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта. .....	25
4.2 Риски, сопровождающие технологию сварки окраек.....	26
4.3. Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков .....	26
4.4. Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки.....	27
4.5. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	29
4.6 Заключение по разделу .....	31
5 Экономическая эффективность проекта.....	32
5.1 Исходные данные для экономического обоснования .....	33
сравниваемых вариантов .....	33
5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса.....	34
5.3 Расчет затрат на новое оборудование .....	35
5.4 Расчет технологической себестоимости .....	38
5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений.....	46
5.6 Выводы по разделу.....	47

ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	50

## **ВВЕДЕНИЕ**

Базовый технологический процесс сварки окраек днища предусматривает механизированную дуговую сварку проволокой сплошного сечения. Данная технология применяется в промышленности давно. За это время сварочные технологии получили свое развитие преимущественно в области импульсной сварки. Применение импульсных технологий позволяет повышать однородность структуры и в 2–3 раза уменьшать размер зерна металлов сварного шва и зоны термического влияния основного металла. Повышается пластичность зон сварного соединения стали, увеличивается ударная вязкость металла шва при положительных температурах эксплуатации. Таким образом, анализ объекта показывает, что внедрение новых технологических решений при сварке окраек днища резервуара объемом 20000 кубометров является актуальным.

Одна из особенностей выполнения стыков окраек заключается в том, что швы непротяженные, но в нижнем положении. Таким образом, логично применить технологию механизированной сварки и не рассматривать технологии автоматической сварки.

С учетом изложенного формулируем цель настоящей работы – повышение производительности при сварке швов окраек вертикального резервуара за счет внедрения новых технологических решений.

# 1 Анализ исходных данных и известных технических решений

## 1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации

Сварка корпусных конструкции вертикальных резервуаров больших объемов представляет собой сложную задачу.

Например, на фотографии, рисунок 1.1, показан резервуар, уже сданный в эксплуатацию. Его диаметр: 39,9м, его высота: 17,8м. Общая масса металлоконструкций резервуара составляет  $\approx 432$  т.

В настоящее время при строительстве таких резервуаров применяют индустриальные методы возведения.



Рисунок 1.1 – Общий вид резервуара.

Так корпус, днище, изготавливают на предприятиях в цеховых условиях, рулонировуют. Затем перевозят к месту монтажа, разворачивают, и выполняют только лишь монтажные стыки. Однако есть целый ряд

компонентов таких резервуаров, которые изготавливают и монтируют непосредственно на монтажной площадке. К ним относят такие элементы днища, как окрайки. Базовый технологический процесс сварки окрайки днища предусматривает механизированную сварку согласно ГОСТ 14771-76 проволокой сплошного сечения в углекислом газе.

Принципиальным моментом выполнения данной операции является необходимость одновременной работы нескольких сварщиков. Располагаются сварщики диаметрально противоположно друг относительно друга, и выполняют сварку по часовой стрелке, рисунок 1.2.

Сварку выполняют в два этапа, рисунок 1.3.

Первый этап:

- сначала выполняют сварку участка длиной от 200...250 мм в зоне стыка днища с листами стенки

- затем выполняют операции контроля качества выполненных швов.

Второй этап выполняется по окончании сварки вертикальных швов первого пояса стенки. Оставшиеся недоваренными участки сварных швов доваривают до конца.

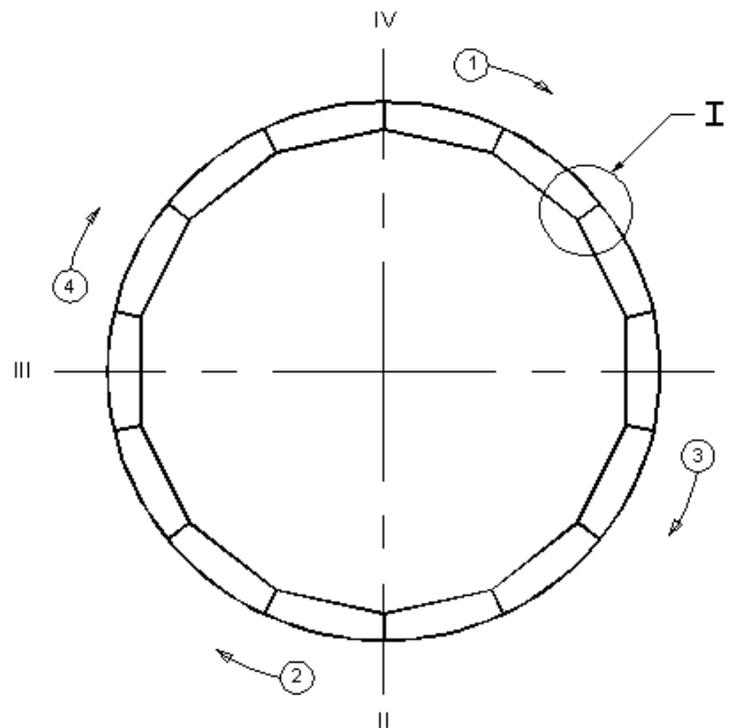
Толщина листов окрайки составляет 12 мм. Сварные швы выполняют в два слоя, рисунок 1.4.

Сварку стыков выполняют технологическими участками длиной по 200... 300 мм со смещением начала каждого участка прохода на величину от 25 до 30 мм, рисунок 1.5.

Режимы сварки, см. таблица 1.1

Таблица 1.1 – Режимы сварки стыков окрайки, а также стыковых соединений центральной части днища проволокой сплошного сечения диаметром 1,2 мм в углекислом газе

Слой шва	Род тока (полярность)	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, см/мин	Вылет электрода, мм
Корневой	Постоянный (обратная)	190-210	20-21	14 – 16	15-28
Заполняющий	Постоянный (обратная)	190-210	20-21	12-16	12-20
Облицовочный	Постоянный (обратная)	190-230	22-24	15-20	10-15



Условные обозначения:

① - направление перемещения сварщиков.

Рисунок 1.2 – Схема выполнения сварных швов

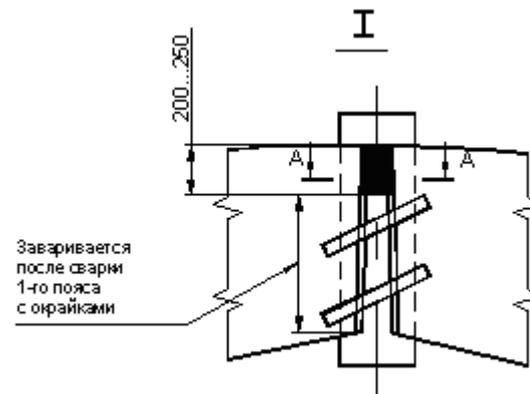


Рисунок 1.3 – Последовательность сварки

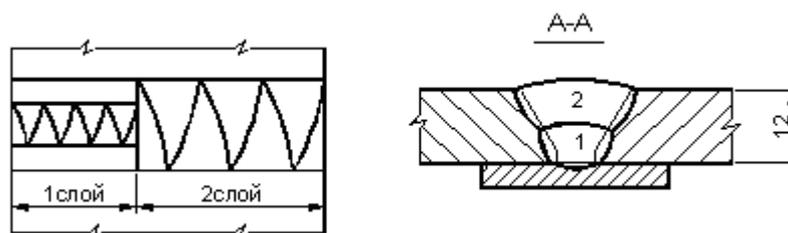


Рисунок 1.4 – Схема сварки в 2 слоя.



Рисунок 1.5 -

Рассмотрим применяемый способ, проанализируем его достоинства и недостатки.

Термин дуговая сварка в защитных газах применяют для обозначения многочисленных разновидностей применяемого способа. Главная его особенность в том, что в процессе сварки вокруг факела дуги создают газовую среду, состав которой отличается от воздуха, рисунок 1.6. Данная среда обеспечивает защиту расплавленного металла от вредного влияния некоторых компонентов воздуха. Другой ее функцией является обеспечение поддержания дугового разряда.

Существует много видов дуговой сварки в защитных газах. Сварку в дуговых газах классифицируют по способу создания газовой защиты, виду защитного газа, типу применяемого электрода, роду тока, степени механизации процесса.

У сварки в защитных газах можно выделить следующие преимущества: высокая производительность; мобильность; сварку можно выполнять во всех пространственных положениях; можно сваривать металл широкого диапазона толщин - от десятых долей миллиметра до десятков миллиметров; сравнительная простота оборудования; поскольку отсутствует т.н. огарок электрода, снижается общий расход присадочной проволоки.

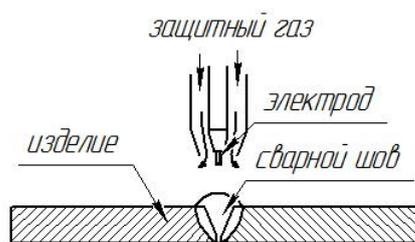


Рисунок 1.6 - Сварка плавящимся электродом в среде защитного газа

Главные недостатки способа следующие: сравнительная сложность оборудования; высокое разбрызгивание присадочного металла при сварке плавящимся электродом.

При выборе состава защитной среды учитывают особенности свариваемого металла, толщину свариваемых кромок, тип электрода, и требования предъявляемые к сварным швам. Так для сварки химически активных металлов и сплавов применяют инертные газы или их смеси. Смесь инертных и активных газов в некоторых случаях повышает устойчивость горения сварочной дуги, увеличить глубину проплавления, улучшить внешний вид сварного шва, снизить разбрызгивание металла при сварке плавящимся электродом, увеличить плотность металла шва, повысить производительность процесса сварки.

## 1.2 Описание свойств материала днища

Для модернизации базовой технологии при сварке элементов днища рассмотрим особенности свариваемости материала днища – сталь 09Г2С.

Днище рассматриваемого резервуара объемом 20000 м<sup>3</sup> выполняют из стали 09Г2С. Это низколегированная конструкционная сталь, которая получила широкое распространение при проведении сварных работ и выполнении металлических конструкций различного назначения. Основное назначение сталь 09Г2С – изготовление различных сварных металлических конструкций, работающих при температуре от -70 до +425 °С при

избыточном давлении. Заменителями стали 09Г2С могут быть стали марок 09Г2 и 09Г2Т, 09Г2ДТ и 10Г2С.

Химический состав указанной стали, и, соответственно, механические свойства приведены в таблицах 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2 – Химический состав в % стали 09Г2С (Fe – остальное)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
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 0,08

Таблица 1.3 – Механические свойства стали 09Г2С при температуре 20°С

Сортамент	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta_5$
-	МПа	МПа	%
Лист	500	350	21

На термический цикл при сварке сталь 09Г2С реагирует несколько иначе, нежели обычная низкоуглеродистая сталь. Главное отличие проявляется в повышенном образовании закалочных структур в металле шва и околошовной зоне, если скорость охлаждения высокая. Высокая скорость охлаждения при сварке конструкций из стали 09Г2С также приводит к образованию в сварных швах мартенсита, бейнита и остаточного аустенита. В этом случае обнаруживаемый мартенсит имеет бесструктурный характер. Содержащийся в сварном шве бейнит находится в виде феррито-карбидной смеси, имеющей высокую степень дисперсности. Эти структурные составляющие могут находиться в сварном шве в различном количестве, которое зависит от температурного цикла сварки. Если происходило уменьшение погонной энергии сварки, то количество мартенсита бейнита и остаточного аустенита повышается, происходит также увеличение их дисперсности.

Присутствие закалочных структур в небольшом количестве незначительно влияет на механические свойства сварных соединений. В основном это объясняется равномерным и дезориентированным расположением этих структур в мягкой ферритной основе сварного шва. Тем не менее при увеличении доли закалочных структур в сварном шве и

околошовной зоне происходит резкое резкое уменьшение пластичности металла и снижение его стойкости против хрупкого разрушения. Присутствие марганца, кремния и других легирующие элементов приводит к образованию большего количества закалочных структур в металле сварного соединения. При дуговой сварке конструкций из стали 09Г2С следует придерживаться режимов, обеспечивающих меньшую погонную энергию по сравнению со сваркой конструкций из низкоуглеродистой стали.

Получение равнопрочного металла шва и основного металла достигается за счёт легирования сварного шва элементами, переходящими из основного металла. Для повышения прочности металла сварного шва и стойкости против хрупкого разрушения следует использовать дополнительное легирование металла шва через сварочную проволоку.

В случае сварки металлических конструкций из стали 09Г2С стойкость металла сварного шва против кристаллизационных трещин несколько ниже, чем в случае сварки конструкций из низкоуглеродистых сталей. Объяснением этого служит усиление негативного влияния углерода и кремния. Повышение стойкости против возникновения трещин может быть получено при снижении содержания в металле сварного углерода и серы, что может быть достигнуто при использовании сварочной проволоки, которая имеет пониженное содержание этих элементов. На прочность сварных соединений и отсутствие дефектов оказывает существенное влияние правильный выбор технологии сварки.

### **1.3 Анализ возможных способов сварки днища**

Таким образом, для сварки элементов днища из стали 9Г2С можно применить практически все известные в резервуаростроении способы. При этом приоритетным путем совершенствования механизированной сварки является все более широкое применение импульсных технологий, в том числе с реализацией импульсных алгоритмов, включая синергетические, в источниках сварочного тока [2].

Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом интенсивно начала внедряться в производство во второй половине прошлого столетия при изготовлении конструкций из деформируемых алюминиевых сплавов при изготовлении конструкций в судостроении, авиации, в легкой и пищевой промышленности, а также из нержавеющей и жаропрочных металлов и сплавов в химической промышленности и в моторостроении. В начале 21 столетия импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом находит применение при изготовлении различных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей в смесях защитных аргоносодержащих газов (82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>). При оптимально выбранных режимах импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом обладает такими преимуществами как управляемый перенос электродного металла, минимальное разбрызгивание, возможность ведения процесса сварки во всех пространственных положениях.

Сварочная дуга во всех известных защитных газовых средах (кроме аргона) характеризуются пространственной неустойчивостью. [1]. Для устранения отрицательного влияния пространственной неустойчивости дуги на ее технологические свойства применяют следующие способы:

- переход к сварке короткой дугой в CO<sub>2</sub> (естественный импульсный процесс в виде автоколебаний электрических параметров в системе «дуга — источник питания»);
- применение активированного электрода солями металлов щелочной и щелочноземельной групп при сварке в CO<sub>2</sub> током прямой полярности при средней его величине больше критического ( $I_{ср} > I_{кр}$ ) или с импульсным ведением процесса при ( $I_{ср} < I_{кр}$ );
- применением газовых смесей с содержанием Ar  $\geq$  80 %;
- специальным программированием процесса сварки в CO<sub>2</sub> с импульсным воздействием на дугу.

За последние несколько лет новое технологическое развитие получил способ сварки плавящимся электродом в защитных газах в связи с

появлением цифровых инверторных сварочных источников питания с мощными высокоскоростными процессорами. Началась активная разработка специализированных алгоритмов управления переносом электродного металла при сварке в защитных газах, обеспечивающих высокое качество получаемых сварных швов и «простоту техники сварки» даже при относительно невысокой квалификации и незначительных навыках сварщика [1]. Прежде всего это обусловлено общей тенденцией развития сварочных технологий и оборудования направленных на снижение влияния «человеческого фактора» на качество свариваемых изделий. Однако большее значение имеют разработки, связанные с расширением технологических возможностей и повышением производительности (эффективности) полуавтоматической сварки в защитных газах [2].

Таковыми новыми разработками году стали процессы MIG/MAG сварки SpeedPuls, SpeedArc, SpeedUp и чуть позднее появился SpeedRoot, каждый из которых, имея свою оригинальную особенность применения, обеспечивал высокое качество сварных швов при максимальной производительности процесса сварки в защитных газах в конкретных условиях применения [3]. Алгоритмы управления такими процессами сварки реализованы программным обеспечением сварочных источников питания в виде синергетических программ (настроек) для сварки углеродистых сталей, нержавеющей сталей в смесях защитных газов (Ar и CO<sub>2</sub>) и алюминиевых сплавов в аргоне. Процесс SpeedRoot, предназначенный для сварки корневых проходов с формированием обратного валика реализован и для сварки в 100% CO<sub>2</sub>. Еще одним преимуществом явилось то, что все указанные выше процессы, можно включать на типовых сварочных аппаратах разработчика, наряду с обычными («стандартными») режимами полуавтоматической сварки в защитных газах. Активация функций Speed-процессов производится изначально при предпродажной подготовке сварочного оборудования, либо по необходимости уже в процессе эксплуатации при возникновении соответствующих сварочных задач (дооснащение). Speed-процессы легко

автоматизируются и, поэтому, активно применяются в автоматических и роботизированных сварочных установках.

В 2016 году совместно с модернизированным сварочным оборудованием серии S SpeedPuls XT представлено два усовершенствованных процесса сварки SpeedPuls XT, SpeedArc XT. Процесс сварки SpeedPuls добавил к уже имеющимся преимуществам способа сварки импульсной дугой увеличенную производительность.

Однако в последнее время все более активно развивается еще одно направление в области импульсного управления процессом сварки посредством импульсной подачи электродной проволоки [3, 4]. Разработан целый ряд технических решений [5], позволяющих управлять параметрами импульсов (шагом, частотой, формой, скважностью) при формировании сварного шва или валика наплаваемого металла, в том числе глубиной проплавления, ЗТВ, а также расходом материальных и энергетических ресурсов. Одним из наиболее оригинальных решений является система импульсной подачи электродной проволоки с использованием специального вентильного электропривода, оснащенного компьютеризированным регулятором характеристик вращения вала. При этом подающий ролик закреплен прямо на валу электродвигателя [6], что исключает дополнительные инерционные звенья. Применение такой системы позволяет, например, при сварке с короткими замыканиями (КЗ) осуществлять управляемый каплеперенос электродного металла. В свою очередь управляемый каплеперенос позволяет в значительной степени влиять на служебные характеристики сварного соединения.

Однако, несмотря на явные преимущества, расширение областей применения систем с импульсной подачей электродной проволоки сдерживается как из-за отсутствия серийного оборудования, имеющего надежные системы импульсной подачи с регулируемыми параметрами, так и из-за относительной сложности задания этих параметров для получения ожидаемого технологического эффекта или даже ряда эффектов. Поэтому

можно утверждать, что проблемы производства такого оборудования и выбор режимов сварки-наплавки в некоторой степени связаны.

Заметим, что при импульсной подаче электродной проволоки важной характеристикой является скважность ее импульсного перемещения  $S$ , определяемая как соотношение времени действия импульса движения к общему периоду цикла подачи, который может включать в себя, кроме импульса, время паузы и время реверсивного движения электродной проволоки [7].

При этом для определенных диаметров и материалов электродной проволоки, защитного газа существует также определенная скважность импульсов, позволяющая активно управлять сварочным процессом. Экспериментально также установлено, что для определенных видов электродов и защитных сред частота импульсной подачи для принудительного управления короткими замыканиями должна быть близка к характерной при естественных коротких замыканиях или отличаться от нее не более чем в 1,5—1,7 раза. Из этого следует, что наиболее действенной характеристикой, на которую можно влиять в широких пределах, является шаг подачи электродной проволоки. Следовательно, это характеристика должна быть управляемой. Такая задача управления шагом импульсной подачи успешно решена в системе импульсной подачи на основе вентильного электропривода, а эффективность применения такого решения подтверждена в ходе многочисленных экспериментов и исследований.

Техническая реализация импульсной подачи электродной проволоки от электропривода с автоматическим регулятором интегрального значения тока в зависимости от напряжения позволяет простыми способами дополнительно осуществить синхронную автоматическую модуляцию тока и напряжения с заданной глубиной модуляции; синхронный программируемый процесс возбуждения дуги и заварки кратера шва; возможность выполнения сложных алгоритмов синхронного изменения параметров сварочного процесса, например, при дуговой точечной сварке с импульсной подачей электродной

проволоки [9]; процесс сварки с источниками питания дуги, имеющими различные вольт-амперные характеристики.

Таким образом, упрощение выбора и установления рациональных режимов работы механизированного оборудования (полуавтоматов) с управляемой импульсной подачей электродной проволоки за счет введения в регулятор вентильного электропривода обратной связи по напряжению дугового процесса и микропроцессорным управлением параметрами его работы может существенно расширить области их рационального применения в промышленности.

Однако применительно к мелкосерийному и единичному производству подобного рода оборудование представляется сложным и дорогостоящим. В данной работе импульсы подачи генерируются за счет применения специального электродвигателя в механизме подачи электродной проволоки. Однако на практике применяют и второй вариант – использование механических модуляторов различных конструкций.

Рассмотрим вариант подачи сварочной проволоки при помощи модулятора [9]. В данном случае каплеперенос происходит в 4 стадии, рисунок 1.7.

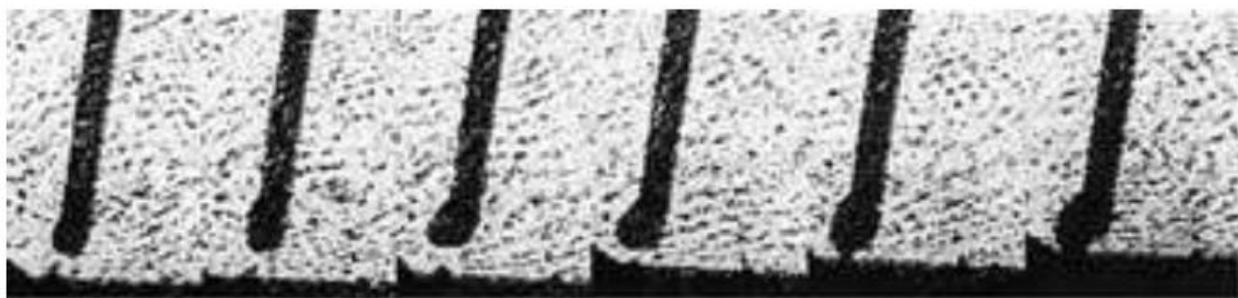


Рисунок 1.7 – Видеокадры процесса образования капли электродного металла при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм в  $\text{CO}_2$  с импульсной подачей с частотой  $30 \text{ с}^{-1}$ :

Механизм модулятора представлен на рисунке 1.8.

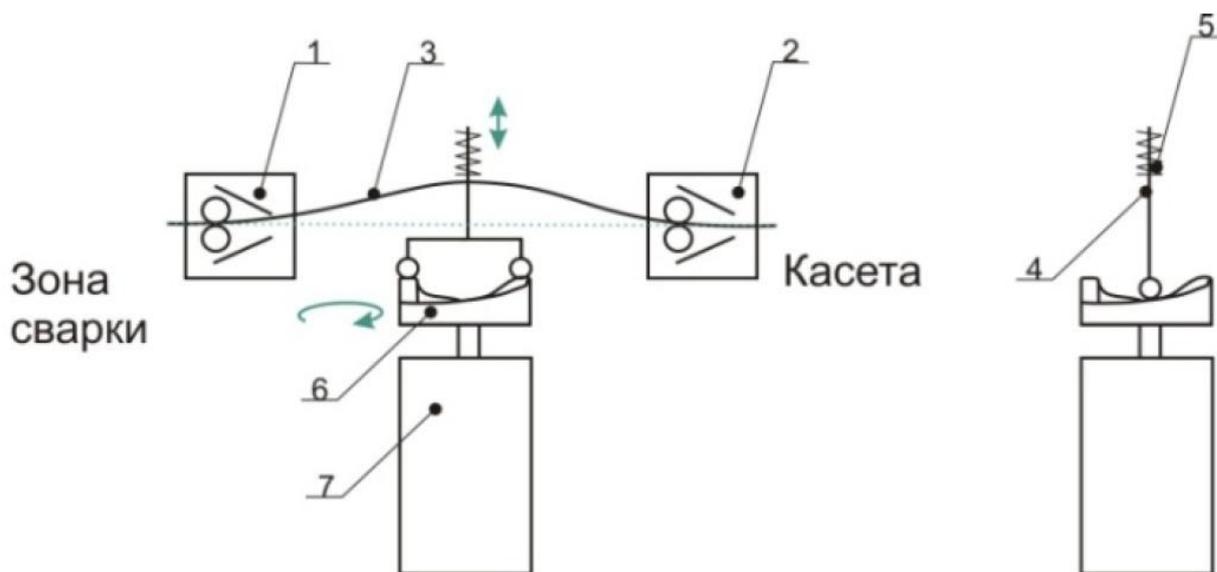


Рисунок 1.8 – Модулятор подачи проволоки

При вращении вала электродвигателя 7 за счет кривизны профиля кулачка 6 шток 4 совершает возвратно-поступательные движения. Когда шток идет вверх образуется изгиб проволоки. Захват 1 при этом закрыт, и не дает возможности двигаться проволоке обратно. Когда шток идет вниз проволока 3 за счет действия пружины 5 и собственных сил упругости, возникших в проволоке в процессе изгиба выпрямляется и проходит через захват 1 в зону сварки. Захват 2 закрыт, и не дает возможности обратному прохождению проволоки в кассету.

#### 1.4 Задачи работы

Цель настоящей работы – повышение производительности при сварке окраек вертикальных резервуаров.

При выполнении анализа состояния вопроса были рассмотрены операции типового технологического процесса сварки окраек днища резервуара с использованием механизированной дуговой сварки проволокой сплошного сечения, выявлены и обозначены возникающие в процессе его реализации недостатки.

На основании проведённого анализа сформулируем задачи выпускной квалификационной работы, последовательное выполнение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- 1) Подобрать режимы импульсной механизированной сварки для замены применяемого способа;
- 2) Разработать технологический процесс сборки и импульсной механизированной сварки краек проволокой при монтаже;
- 3) Разработать мероприятия по технике безопасности;
- 4) Экономически обосновать проект.

## **2 Разработка технологического процесса сварки окраек**

### **2.1 Анализ возможных способов дуговой сварки окраек**

По базовому варианту технологического процесса сварки днища резервуара объемом 20000 кубометров для сварки окраек применяется механизированная дуговая сварка проволокой сплошного сечения в среде углекислого газа.

Совершенствование оборудования для дуговой сварки долгое время производилось в сторону вытеснения традиционных источников питания сварочной дуги инверторными выпрямителями. Однако полного завершения этого процесса не произошло и в ближайшее время не произойдет. Сохранение доли традиционных источников питания наблюдается не только в Российской Федерации, но и в технически развитых западных странах. Это происходит, несмотря на достоинства инверторных сварочных источников питания и перспективность их применения. Объяснение такого явления в своей основе содержит простоту и надежность традиционных сварочных источников питания. Во многих областях промышленности именно традиционные выпрямители еще долгое время будут обеспечивать главные показатели качества сварки, и выбор сварочного оборудования при построении технологических процессов будет падать на них. Современные инверторные источники питания ограничены по току, поэтому исходя из соображений надежности и экономичности в большинстве случаев предпочтительнее применение традиционных схемных решений.

Проведенный в разделе Состояние вопроса анализ показал, что и для традиционных источников питания возможно применение варианта импульсной сварки за счет подачи проволоки специальным механизмом достаточно простой конструкции. Механизм встраивается в стандартный кабель подачи присадочной проволоки.

Сварка с импульсной подачей проволоки за счет применения рассмотренного выше модулятора помимо традиционных параметров режима, сила тока, скорость подачи проволоки, расход защитного газа,

обладает такими параметрами, как шаг подачи и частота импульсного перемещения электрода.

Частота перемещения электрода зависит от частоты вращения вала электродвигателя. Шаг подачи зависит от расстояния между захватами и от амплитуды перемещения торца штока.

Совместное действие двух данных дополнительных параметров определяет как скорость подачи электродной проволоки так и параметры каплепереноса, энергетические параметры режима и стабильность процесса сварки.

Требуемый закон перемещения проволоки может быть обеспечен за счет изменения в нужном направлении профиля кулачка. Изменяя профиль можно менять диапазон амплитудных значений перемещения торцевой части электродной проволоки.

Второй вариант регулирования параметров режима импульсной сварки обеспечивается изменением расстояния между шариковыми захватами.

Также влияние на работу данного модулятора оказывает модуль упругости электродной проволоки [6]. Только при упругих деформациях проволоки возможна передача управляющих воздействий.

В работе [8] построен график, согласно которому, если расстояние между захватами и амплитуда перемещения штока находится в заштрихованной области, проволока деформируется упруго, рисунок 1.2.

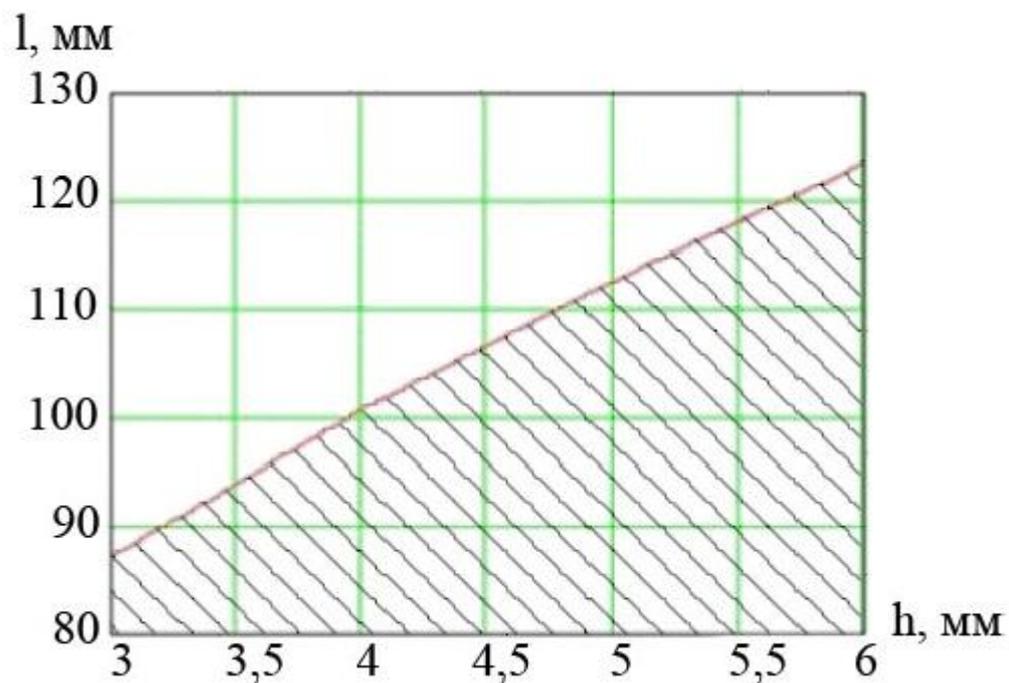


Рисунок 1.2 – Область стабильной работы механизма импульсной подачи электродной проволоки.

Таким образом, определенные параметры режима сварки для толщины 2 мм согласно [6] следующие. Частота импульсов 70 Гц, при расстоянии между захватами 150 мм, скорости сварки 10 мм/с, напряжении холостого хода источника 34 В.

Таким образом, последовательность наложения сварных швов по сравнению с базовой технологией не изменится, но режим сварки будет следующим.

Сила тока 190-210 А, напряжение на дуге 18-23 В, расход газа 8-10 л/мин, частота импульсов 70 Гц, при расстоянии между захватами 150 мм, скорость сварки 10 мм/с, напряжение холостого хода источника 34 В.

При облицовочном шве увеличиваем силу тока до 200-230 А.

### 3 Оборудование и приспособления

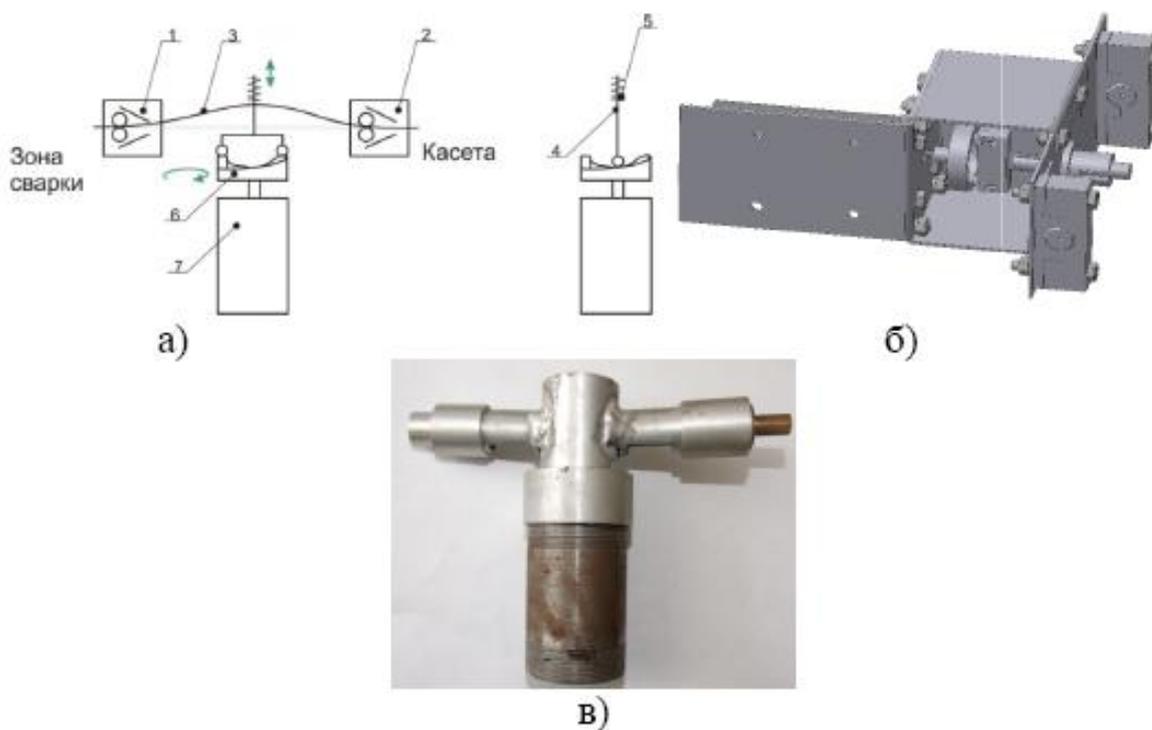
Для сварки выбираем полуавтомат Origo Mig C240. На рисунке 3.1 показан полуавтомат. Данный источник является инверторным.



Рисунок 3.3 – Полуавтомат Origo Mig C240

Аппарат сварочный постоянного тока промышленного применения предназначен для полуавтоматической сварки (режим «MIG/MAG») стальных материалов, деталей и агрегатов в качестве источника питания. Аппарат также может применяться для ручной электродуговой сварки (режим «ММА»).

Для реализации режима импульсной подачи сварочной проволоки в шланг подачи проволоки встраиваем рассмотренный выше модулятор, рисунок 3.2.



а – схема работы механизма, б – реализация для работы в составе автомата, в – реализация для работы в составе полуавтомата  
Рисунок 3.2. Механизм импульсной подачи электродной проволоки

## 4 Безопасность и экологичность проекта

### 4.1 Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта

Тема выпускной квалификационной работы: «Технологический процесс сборки и сварки окраек вертикального резервуара». В настоящее время сварка окраек выполняется механизированной сваркой проволокой сплошного сечения. В разделе 1 настоящей работы у данной технологии выявлен ряд недостатков, и показано, что применяя механизированную но импульсную подачу сварочной проволоки сварку их можно нейтрализовать. Разработана технология сварки с импульсной подачей проволоки, естественно, что при внедрении данных технических решений необходимо предусмотреть мероприятия по нейтрализации опасных и вредных технологических факторов, сопровождающих технологию сварки.

Профессия сварщика по-прежнему является одной из наиболее профессионально опасных, а процессы сварки, наплавки и резки металлов традиционно находятся в поле зрения специалистов-экологов и охраны труда. Комбинированное воздействие на рабочих сварочных профессий вредных производственных факторов (таблица) таких, как химические (сварочные аэрозоли, газы), физические (излучение дуги, электромагнитные поля, тепловые нагрузки и др), природные, способствуют развитию профессиональной заболеваемости и сокращению их трудового долголетия.

Таблица 4.1 - Технологический паспорт объекта

Технологический процесс	Выполняемые работы	Должности работников, реализующих данный техпроцесс	Вновь установленное оборудование	Вспомогательные материалы
Выполнение сварных швов окраек вертикального резервуара	Подготовка, сборка и сварка окраек	Слесарь-сборщик, сварщик изделий из тугоплавких металлов	Origo Mig C240	Присадочная проволока Св-08Г2С, газ углекислый

## 4.2 Риски, сопровождающие технологию сварки окраек

Различные негативные производственные факторы при действии на организм работников, реализующих разработанный в бакалаврской работе технологический процесс могут вызвать нетрудоспособность работника. В таблице 4.2 систематизируем и проанализируем выявленные на участке сварки негативные производственные факторы.

Таблица 4.2 – Идентификация профессиональных рисков.

Выполняемые работы	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и / или вредного производственного фактора
Подготовка, сборка и сварка окраек	Острые кромки, движущиеся детали оборудования и заготовки. повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке; повышенная температура оборудования и воздуха участка; повышенное напряжение, от которого запитано оборудование; световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Полуавтомат Origo Mig C240 присадочная проволока Св-08Г2С, газ углекислый, круг абразивный.

## 4.3 Мероприятия по уменьшению негативного действия профессиональных рисков

Уже внедренные на участке сварки и разработанные в рамках бакалаврской работы мероприятия по снижению негативного действия профессиональных рисков систематизируем и проанализируем в таблице 4.3. В таблицу не будем включать такие организационные мероприятия, как инструктажи по технике безопасности.

Таблица 4.3 – Мероприятия и средства уменьшения негативного действия профессиональных рисков.

Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Острые кромки		Перчатки, спецодежда.
движущиеся детали оборудования и заготовки	Плакаты и надписи, барьеры и ограждения.	
повышенная запыленность и загазованность воздуха на участке	вентиляция	Средства защиты дыхательных путей
повышенная температура оборудования и воздуха участка	вентиляция	Спецодежда, перчатки
повышенное напряжение, от которого запитано оборудование;	Заземление, контроль изоляции.	
световая, ультрафиолетовая и инфракрасная радиация.	Экранирование места сварки щитами,	маска сварщика, спецодежда.

#### 4.4 Мероприятия по пожарной безопасности участка сварки

В таблице 4.4 выполним анализ возможных опасных факторов, сопровождающих пожар, при его возникновении на производственном участке.

Таблица 4.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Подготовки, сборки и сварки окраек	Полуавтомат Origo Mig C240	пожары, связанные с воспламенением и горением веществ и материалов электроустановок, находящихся под электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; выделение вредных продуктов при горении; Уменьшение содержания кислорода при горении; дым препятствует нормальной видимости.	Повреждение из-за высокой температуры электрической изоляции на проводах может привести к поражению электрическим током; действие на человека веществ, применяемых для пожаротушения

Таблица 4.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили или (вызываются)	Не применяются	Не применяются	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 4.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования, технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Сварка	обучение рабочих и служащих правилам пожарной безопасности, применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности, проведение учений с производственным персоналом по поводу пожарной безопасности, создание добровольной пожарной дружины.	На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр.

#### **4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта**

Актуальность проблемы охраны и восстановления окружающей среды стала очевидной, в связи с чем правительства стран Европейского союза совместно с руководством промышленных компаний пришли к выводу о необходимости создания системы контроля за состоянием окружающей среды, построенной на единых концептуальных подходах и практических стандартах ЕС, которые в полной мере учитывали бы особенности и специфику национального законодательства каждой страны в области защиты и восстановления природной окружающей среды.

В таблице 4.7 выполним анализ вредных факторов разработанного технологического процесса механизированной сварки, представляющих опасность для природной окружающей среды.

Таблица 4.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (здания по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортного средства	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Сварка окраек вертикального резервуара	Подготовка окраек к сварке, сборка сварка,	газообразные частицы; сажа;	Проявитель и закрепитель рентгеновских снимков	упаковка от присадочной проволоки, бумажная, полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; огарки электродов; бытовой мусор.

Таблица 4.8 – Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Фильтры в системе вентиляции участка задержат мелкодисперсные частицы сажи
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Важным является соблюдение культуры производства, исключение утечек проявителя и закрепителя, которые попадая в канализацию попадают во внешние водоемы.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Размещение на территории участка восстановления емкостей для селективного сбора металлолома, бытовых отходов и производственных отходов. На емкостях или рядом стоящих плакатах необходимо нанести предписывающие сообщения. С рабочими необходимо провести разъяснение по необходимости селективного складирования отходов. Желательно периодически, во время ежеквартального инструктажа по технике безопасности, разъяснить производственному персоналу правила сбора твердых отходов

К мероприятиям, перечисленным в таблице 4.8, следует отнести комплекс организационно-технических мероприятий, связанных с обучением, подготовкой и аттестацией сварщиков и специалистов сварочного производства. Экологические аспекты сварочного производства должны учитываться при обучении сварщиков.

#### **4.6 Заключение по разделу**

Планируемый к внедрению технологический процесс механизированной сварки окраек вертикального резервуара проволокой сплошного сечения сопровождается факторами, оказывающими вредное воздействие на рабочих производственного участка.

Сделан анализ возможности снижения негативного действия выявленных факторов на рабочих и полного устранения их действия. По результатам анализа можно сделать вывод, что уже применяемые на производстве средства защиты и организационные мероприятия по технике безопасности обеспечат безопасность работника при реализации разработанного при выполнении бакалаврской работы технологического процесса механизированной сварки.

Установлено, что дополнительных мероприятий и средств для защиты от опасных и вредных факторов, сопровождающих процесс механизированной сварки, не нужно.

Также технология механизированной сварки технологического трубопровода проволокой сплошного сечения оказывает негативное влияние на окружающую среду. Для минимизации такого влияния предложены организационные мероприятия.

## 5 Экономическая эффективность проекта

По базовому варианту технологического процесса сварки окраек вертикального резервуара применяется механизированная дуговая сварка проволокой сплошного сечения. Результаты анализа научно-технической и патентной литературы позволили рекомендовать для проектного варианта механизированную сварку с импульсной подачей проволоки сплошного сечения.

Сопоставительный анализ двух вариантов, базового и проектного, приведен в таблице 5.1. В таблице рассмотрены выявленные в 1 разделе работы недостатки базовой технологии сварки и принцип их устранения при использовании механизированной сварки.

Таблица 5.1 – Сопоставительный анализ базового и проектного варианта технологии

Базовая технология	Проектная технология
Механизированная сварка проволокой сплошного сечения предусматривает необходимость контроля большого количества параметров процесса. Для сварки по базовой технологии требуются рабочие высокого разряда и размер тарифной ставки у них, соответственно, высокий.	По предложенному варианту механизированной сварки модулятор подает присадочную проволоку в зону горения сварочной дуги импульсами, уменьшается количество параметров техпроцесса, которые нужно контролировать. Можно поставить на операцию рабочего с меньшим разрядом, и, соответственно, меньшей тарифной ставкой.
Скорость сварки низкая, так как при высокой скорости сварки возможны непровары.	При той же силе тока за счет реализации переноса металла в момент образования капли меньше разбрызгивание, лучше условия формирования ша и скорость сварки может быть больше.

## 5.1 Исходные данные для экономического обоснования сравниваемых вариантов

Исходные данные необходимые для проведения расчетов, занесены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Исходные данные для проведения экономического расчета

Показатели	Услов. обозн.	Ед. изм.	Варианты	
			Базовый	Проект.
2	3	4	5	6
Финансовые затраты на 1 кг присадочного материала	$\text{Ц}_{\text{эл}}$	Руб/кг	88	69
Значение тарифной ставки	$\text{С}_{\text{ч}}$	Руб/час	95,29	84,87
Отчисления на дополнительную заработную плату	$\text{к}_{\text{д}}$	%	10	10
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$\text{Н}_{\text{соц}}$	%	30	30
Финансовые затраты на покупку оборудования	$\text{Ц}_{\text{об}}$	Руб	40000	70000
Норма амортизационных отчислений на оборудование	$\text{Н}_{\text{а}}$	%	18	18
Коэф. Полезного действия установки	$\text{КПД}$	-	0,7	0,78
Стоимость электроэнергии	$\text{Ц}_{\text{э-э}}$	Руб/кВт	3,02	3,02
Удельный расход защитного газа	$\text{Узг}$	$\text{М}^3/\text{час}$	-	50
Стоимость защитного газа	$\text{Цзг}$	$\text{Руб}/\text{м}^3$	-	50
Стоимость аренды площади	$\text{С}_{\text{экспл}}$	$\text{Руб}/\text{м}^2$	1800	1800
Стоимость приобретения производственных площадей	$\text{Цпл}$	$\text{Руб}/\text{м}^2$	4500	4500
Площадь занимаемая оборудованием	$\text{S}$	$\text{М}^2$	8	11
Значения коэффициентов, финансовых расходов на монтаж и демонтаж оборудования	$\text{к}_{\text{монт}}$ $\text{к}_{\text{дем}}$	%	2	2
Нормативный коэффициент экономической эффективности дополн. капит. вложений	$\text{Ен}$	-	0,33	0,33
Годовая программа – общее количество стыков окраек	$\text{N}_{\text{пр}}$	шт	500	500
Коэффициент заводских расходов	$\text{к}_{\text{зав}}$		1,97	1,97
Норма амортизационных отчислений на площадь	$\text{Напл}$	%	2	2
Коэффициент цеховых расходов	$\text{к}_{\text{цех}}$		1,72	1,72

## 5.2 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Для расчета штучного времени на сварку одного стыка окраек применим зависимость:

$$t_{шт} = t_{n-з} + t_0 + t_в + t_{отл} + t_{обсл} + t_{н.п} \quad (5.1)$$

где  $t_{n-з}$  – время, расходуемое на подготовительно-заключительные операции,  $t_{n-з} = 0,05\%$  от  $t_0$

$t_0 = t_M$  – время, расходуемое непосредственно на выполнение сварного шва - машинное.

$t_в$  – время, расходуемое на подготовку сварочного оборудования к работе

$t_в = 10\%$  от  $t_0$ .

$t_{отл}$  – время, расходуемое рабочими на отдых и личные надобности  $t_{отл} = 5\%$  от  $t_0$ ;

$t_{обсл}$  – время, расходуемое рабочими на обслуживание рабочего места

$t_{обсл} = 8\%$  от  $t_0$ ;

$t_{н.п}$  – время неустраняемых перерывов,  $1\%$  от  $t_0$ .

Машинное время определим по следующей формуле:

$$t_0 = \frac{60 * M_{напл.мет} * L_{ш}}{I_{св.} * \alpha_{напл}}, \quad (5.2)$$

где  $L_{ш}$  – кольцевой шов - 0,238 м;

$I_{св}$  – сварочный ток, А;

$\alpha_{напл}$  – коэффициент наплавки, 9 Г/А·час.

$M_{напл.мет}$  – масса наплавленного металла, кг/м;

Масса наплавленного металла  $M_{\text{напл.мет}}$  – может быть определена по зависимости, кг/м:

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{Н}} \cdot 10^{-3} \quad (5.3)$$

где  $\rho$  – плотность, 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$F_{\text{Н}}$  – площадь валика, мм<sup>2</sup>.

$$F_{\text{Н}} = (8 \div 12) \cdot d_{\text{эл.}}$$

На толщину 3,5 мм.

$$F_{\text{Н}} = F_1 + F_2 + F_3 = 21 + 24 + 27 = 72 \text{ мм}^2$$

$$M_{\text{напл.мет.б}} = 7,8 \cdot 72 \cdot 10^3 = 0,561 \text{ кг/м}$$

$$M_{\text{напл.мет.пр}} = 7,8 \cdot 72 \cdot 10^3 = 0,561 \text{ кг/м}$$

Подставив в (5.2) необходимые значения, получим:

$$t_{\text{об}} = \frac{60 \cdot 0,561 \cdot 0,238}{120 \cdot 9} = 0,05 \text{ час} = 3,0 \text{ мин.}$$

$$t_{\text{пр}} = \frac{60 \cdot 0,561 \cdot 0,238}{210 \cdot 9} = 0,025 \text{ час} = 1,5 \text{ мин.}$$

Подставив в (5.1) необходимые значения, получим:

$$t_{\text{штб}} = 3,0 + 0,3 + 0,15 + 0,24 + 0,03 = 3,72 \text{ мин} = 0,062 \text{ час}$$

$$t_{\text{штпр}} = 1,5 + 0,15 + 0,09 + 0,075 + 0,015 = 1,83 \text{ мин.} = 0,0305 \text{ час.}$$

### 5.3 Расчет затрат на новое оборудование

$$K_{\text{общ}} = K_{\text{пр}} + K_{\text{соп}} \quad (5.5)$$

где  $K_{\text{пр}}$  – затраты непосредственно на закупку оборудования, прямые, руб.;

$K_{\text{соп}}$  – финансовые затраты на демонтаж старого, установку нового оборудования, сопутствующие, руб.

Расчет прямых финансовых затрат выполним по зависимости:

$$K_{\text{пр}} = \sum C_{\text{об}} \cdot k_3 \quad (5.6)$$

где  $\sum \Pi_{об}$  – суммарные финансовые затраты на закупку оборудования, руб.;

$k_3$  – коэффициент загрузки оборудования.

Для определения коэффициента загрузки оборудования вначале рассчитаем нужное количество оборудования по формуле:

$$n_{об.расчетн} = \frac{N_{пр} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60} \quad (5.7)$$

где:  $N_{пр}$  – годовая программа, см. табл. 5.2, 500 шт.;

$t_{шт}$  – время, расходуемое на сварку одного стыка окрайки (штучное), мин.;

$\Phi_{эф}$  – фонд времени работы оборудования, час.

Необходимое количество оборудования, определенное по (5.7) может быть дробным числом, поэтому округляем до целого ( $n_{об.прин}$ ).

Для расчета коэффициента загрузки воспользуемся формулой:

$$k_3 = \frac{n_{об.расчетн}}{n_{об.прин}} \quad (5.8)$$

Фонд времени определим по формуле:

$$\Phi_{эф} = (D_k - D_{вых} - D_{пр}) * T_{см} * S * (1 - k_{р.н}) \quad (5.9)$$

где:  $D_k$  – всего дней в году;

$D_{вых}$  – всего выходных в году;

$D_{пр}$  – всего праздничных дней в году;

$T_{см}$  – длительность рабочей смены на предприятии, час;

$S$  – принятое на предприятии количество рабочих смен;

$k_{р.н}$  – потери времени работы оборудования на ремонт и переналадку (0,06).

$$\Phi_{эф} = (365 - 110 - 14) * 8 \cdot 1 \cdot (1 - 0,06) = 1812 \text{ час.}$$

Для базового варианта технологии

$$n_{\text{об.расчетн.б}} = \frac{500 \cdot 3,72}{1812 \cdot 60} = 0,027 \text{ шт}$$

$$k_{\text{зб}} = \frac{0,027}{1} = 0,027$$

$$K_{\text{прб}} = 40000 \cdot 0,027 = 1080 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$n_{\text{об.расчетн.пр}} = \frac{500 \cdot 1,83}{1812 \cdot 60} = 0,012 \text{ шт}$$

$$k_{\text{зпр}} = \frac{0,012}{1} = 0,012$$

$$K_{\text{прпр}} = 70000 \cdot 0,012 = 840 \text{ руб.}$$

Сопутствующие финансовые затраты определяются расчетным путем только для проектного варианта:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{монт}} + K_{\text{дем}} + K_{\text{площ}} \quad (5.10)$$

$K_{\text{монт}}$  – финансовые расходы, необходимые для выполнения монтажа оборудования для проектного варианта технологии;

$K_{\text{дем}}$  – финансовые расходы, необходимые для выполнения демонтажа оборудования применяемого в базовом варианте технологии;

$K_{\text{площ}}$  – финансовые расходы на дополнительные площади, необходимые для установки оборудования для проектного варианта технологии.

$$K_{\text{монт}} = \Sigma \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{монт}} \quad (5.11)$$

где  $k_{\text{монт}}$  – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям

$$k_{\text{монт}} = 0,2.$$

$$K_{\text{монт}} = 70000 \cdot 0,2 = 14000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{дем}} = \Sigma \Pi_{\text{об}} \cdot k_{\text{дем}} \quad (5.12)$$

где  $k_{\text{дем}}$  – коэффициент финансовых расходов, необходимых для установки на производственных площадях оборудования по проектному варианту технологии и подключения его к необходимым коммуникациям,  
 $k_{\text{дем}} = 0,2$

$$K_{\text{дем}} = 40000 \cdot 0,2 = 8000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{ПЛОЩ}} = S_{\text{ПЛОЩ}} \cdot \Pi_{\text{ПЛОЩ}} \cdot g \cdot k_3 \quad (5.13)$$

где  $g$  – коэффициент, учитывающий проходы и проезды = 3.

$$K_{\text{ПЛОЩ}} = 3 \cdot 3000 \cdot 3 \cdot 0,12 = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{БАЗ}} = K_{\text{ПР}} = 5400 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩ}}^{\text{ПР}} = 840 + 14000 + 8000 + 5400 = 28240 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения в оборудование

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{N_{\text{пр}}} \quad (5.14)$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{БАЗ}} = 1080/500 = 2,16 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{уд}}^{\text{ПР}} = 28240/500 = 56,48 \text{ руб.}$$

#### 5.4 Расчет технологической себестоимости

Общий размер финансовых расходов на материалы определяется как сумма расходов на основные материалы и вспомогательные:

$$ЗМ = ЗМ_{\text{ОСН}} + ЗМ_{\text{ВСП}}$$

Поскольку конструкция изделия изменений не претерпевает, и в базовом варианте и в проектном материал изделия не меняется, первое слагаемое формулы, финансовые расходы на основные материалы, расчету не подлежит.

Для применяемой в настоящее время технологии сварки промышленных газопроводов в качестве вспомогательных материалов используют штучные электроды, расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{эл.} = Н_{эл.} \cdot Ц_{эл.} \quad (5.16)$$

где  $Ц_{эл.}$  – стоимость штучных электродов, руб/кг;

$Н_{эл.}$  – расход штучных электродов согласно нормативам, кг.

$$Н_{эл.} = У \cdot L_{ш.} \quad (5.17)$$

где  $У$  – расход штучных электродов на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{ш.}$  – общая протяженность сварного соединения, м.

$$У = кр \cdot М_{напл.мет} \quad (5.18)$$

где  $кр$  – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,7;

$М_{напл.мет}$  – общее количество присадочного материала, штучных электродов, нужных для формирования сварного соединения, кг.

$$М_{напл.мет} = \rho \cdot F_n \cdot 10^{-3}, \quad (5.19)$$

где  $\rho$  – плотность стали – материал штучных электродов, 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$F_n$  – площадь поперечного сечения шва,  $F_n = 72 \text{ мм}^2$ .

$$М_{напл.мет} = 7,8 \cdot 72 / 1000 = 0,56 \text{ кг.}$$

$$У = 1,7 \cdot 0,56 = 0,95 \text{ кг/м.}$$

$$Н_{эл.} = 0,95 \cdot 0,238 = 0,227 \text{ кг.}$$

$$ЗМ_{элб} = 88 \cdot 0,227 = 19,99 \text{ руб;}$$

$$ЗМ_{б} = 19,99 \text{ руб.}$$

Для предлагаемой в проектном варианте технологии сварки промышленных газопроводов в качестве вспомогательных материалов используют присадочную проволоку и защитный газ, суммарные расходы на закупку которых определим по формуле

$$ЗМ_{свпр} = ЗМ_{свпр} + Ззг \quad (5.20)$$

Расходы на закупку присадочной проволоки определим по формуле:

$$ЗМ_{свпр} = Ц_{пр} \cdot Н_{пр} \quad (5.21)$$

где  $C_{\text{пр}}$  – стоимость применяемой в проектной технологии присадочной проволоки, руб/кг;  
 $N_{\text{пр}}$  - норма расхода применяемой в проектной технологии присадочной проволоки, кг.

Для определения нормы расхода применяемой в проектной технологии присадочной проволоки воспользуемся формулой:

$$N_{\text{пр}} = Y \cdot L_{\text{ш}} \quad (5.22)$$

где  $Y$  - расход сварочной проволоки на единицу длины шва, согласно принятым нормативам, кг/м;

$L_{\text{ш}}$  – общая протяженность сварного соединения, м.

$$Y = k_p \cdot M_{\text{напл.мет}} \quad (5.23)$$

где  $k_p$  – коэффициент расхода сварочных материалов, 1,05;

$M_{\text{напл.мет}}$  – общее количество присадочного материала, присадочной проволоки, нужных для формирования сварного соединения, кг.

$$M_{\text{напл.мет}} = \rho \cdot F_{\text{ш}} \cdot 10^{-3}, \quad (5.24)$$

где  $\rho$  – плотность стали – материал присадочной проволоки, 7,8 г/см<sup>3</sup>;

$F_{\text{ш}}$  – площадь поперечного сечения шва,  $F_{\text{ш}} = 72 \text{ мм}^2$ .

$$M_{\text{напл.мет}} = 7,8 \cdot 72 / 1000 = 0,56 \text{ кг.}$$

$$Y = 1,7 \cdot 0,56 = 0,95 \text{ кг/м.}$$

$$N_{\text{пр}} = 0,95 \cdot 0,238 = 0,227 \text{ кг}$$

$$3M_{\text{свпр}} = 69 \cdot 0,227 = 15,66 \text{ руб.}$$

Расходы на применяемый для защиты сварочной ванны газ, в предлагаемом варианте углекислый, определим по формуле:

$$Z_{\text{з.г.}} = C_{\text{з.г.}} \cdot N_{\text{з.г.}} \quad (5.25)$$

где  $C_{\text{з.г.}}$  – рыночная стоимость одного литра защитного газа в рублях;

$N_{\text{з.г.}}$  – норма расхода используемого в предлагаемом варианте технологии защитного газа в литрах на 1 погонный метр шва.

Норма расхода вычисляется по зависимости:

$$H_{з.г.} = Y_{з.г.} \cdot L + Y_{доп} \quad (5.26)$$

где  $Y_{з.г.}$  – расход защитного газа непосредственно на выполнение сварного шва, л.

$$Y_{з.г.} = q_{з.г.} \cdot t_o \quad (5.27)$$

где  $q_{зг} = 10$  л/мин;

$t_o$  - вычисленное по формуле (5.2) время сварки шва.

$$Y_{з.г.} = 10 \cdot 1,62 = 16,2 \text{ л}$$

$Y_{доп.}$  – учитывает дополнительный расход газа на операции не связанные с формированием шва,  $m^3$ .

$$Y_{доп} = t_{всп} \cdot q_{зг} \quad (5.28)$$

где  $t_{всп}$  – время расхода газа, мин;

$q_{зг}$  – норма расхода газа в единицу времени,  $m^3/\text{мин}$ .

$$Y_{доп} = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ л.}$$

$$H_{з.г.} = 16,2 \cdot 0,687 + 0,5 = 11,62 \text{ л.}$$

$$Z_{з.г.} = 0,011 \cdot 50 = 0,55 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта общая сумма расходов на вспомогательные материалы составит:

$$ZM_{пр} = 15,66 + 0,55 = 16,21 \text{ руб.}$$

Финансовые расходы на электрическую энергию

$$Z_{э-э} = \frac{P_{об} \cdot t_o}{КПД} Ц_{э-э} \quad (5.29)$$

где  $P_{об}$  – мощность, расходуемая оборудованием при выполнении сварного соединения, кВт;

$Ц_{э-э}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

$КПД$  – коэффициент полезного действия оборудования, задействованного при выполнении сварного соединения.

Мощность расходуемую оборудованием при выполнении сварного соединения вычислим по режимам сварки: сила сварочного тока и напряжение дуги.

Для базового варианта технологии

$$P_{обб} = 120 \cdot 30 = 3600 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^Б = \frac{3,6 \cdot 0,05}{0,7} 3,02 = 0,77 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$P_{обпр} = 210 \cdot 30 = 6300 \text{ Вт} = 6,3 \text{ кВт}$$

$$З_{э-э}^{ПР} = \frac{6,3 \cdot 0,025}{0,75} 3,02 = 0,63 \text{ руб.}$$

На следующем этапе выполняем расчет затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования как суммы затрат на амортизацию и ремонт.

$$З_{об} = A_{об} + P_{т.р} \quad (5.30)$$

где  $A_{об}$  – отчисления на амортизацию, руб.;

$P_{т.р}$  – отчисления на ремонт, руб.;

Отчисления на амортизацию рассчитаем по зависимости:

$$A_{об.} = \frac{Ц_{об} \cdot На_{об} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 60 \cdot 100} \quad (5.31)$$

где  $Ц_{об}$  – цена оборудования по базовому и проектному вариантам, руб.;

$На_{об}$  – норма амортизации оборудования, %;

$$A_{об}^Б = \frac{40000 \cdot 3,72 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,24 \text{ руб.}$$

$$A_{об}^{ПР} = \frac{70000 \cdot 1,83 \cdot 18}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,21 \text{ руб.}$$

Отчисления на ремонт рассчитаем по зависимости:

$$P_{т.р} = \frac{Ц_{об} \cdot H_{т.р} \cdot k_3}{\Phi_{эф} \cdot 100} \quad (5.32)$$

где  $H_{т.р}$  – норма отчислений на текущий ремонт оборудования,  $\approx 35\%$ ;

$$P_{тр}^{б} = \frac{40000 \cdot 35 \cdot 0,027}{1812 \cdot 100} = 0,20 \text{ руб.}$$

$$P_{тр}^{пр} = \frac{70000 \cdot 35 \cdot 0,012}{1812 \cdot 100} = 0,16 \text{ руб.}$$

Суммарные расходы на содержание и эксплуатацию

$$З_{об}^б = 0,24 + 0,20 = 0,44 \text{ руб.}$$

$$З_{об}^{пр} = 0,21 + 0,16 = 0,37 \text{ руб.}$$

Для определения размера отчислений на площади, на которых установлено оборудование и оснастка базового и проектного вариантов технологии воспользуемся зависимостью:

$$З_{плоч} = \frac{Ц_{плоч} \cdot S_{плоч} \cdot Ha_{плоч} \cdot t_{шт}}{\Phi_{эф} \cdot 100 \cdot 60} \quad (5.33)$$

где  $Ц_{плоч}$  – цена  $1\text{ м}^2$  производственной площади, руб.;

$Ha_{плоч}$  – норма амортизационных отчислений на здания, %;

$S_{плоч}$  – площадь, занимаемая сварочным оборудованием,  $\text{м}^2$ ;

$$З_{плоч}^б = \frac{4500 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 3,72}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,02 \text{ руб.}$$

$$З_{плоч}^{пр} = \frac{4500 \cdot 11 \cdot 2 \cdot 1,83}{1812 \cdot 100 \cdot 60} = 0,02 \text{ руб.}$$

На следующем этапе определяем затраты по оплате труда

Фонд заработной платы определим как сумму:

$$\text{ФЗП} = \text{ЗПЛ}_{осн} + \text{ЗПЛ}_{доп} \quad (5.34)$$

где  $\text{ЗПЛ}_{осн}$  – основная зарплата;

$\text{ЗПЛ}_{доп}$  – дополнительная зарплата.

$$\text{ЗПЛ}_{осн} = t_{шт} \cdot C_{ч} \cdot k_{зпл} \quad (5.35)$$

где  $C_{\text{ч}}$  – значение тарифной ставки, руб/час;

$t_{\text{шт}}$  – штучное время, час;

$k_{\text{ЗПШ}}$  – коэффициент начислений на основную заработную плату.

$$k_{\text{ЗПШ}} = k_{\text{пр}} \cdot k_{\text{вн}} \cdot k_{\text{у}} \cdot k_{\text{пф}} \cdot k_{\text{н}} \quad (5.36)$$

где  $k_{\text{пр}} = 1,25$  – коэффициент премирования;

$k_{\text{вн}} = 1,1$  – коэффициент выполнения норм;

$k_{\text{у}} = 1,087$  – коэффициент доплат за условия труда;

$k_{\text{пф}} = 1,14$  – коэффициент доплат за профессиональное мастерство;

$k_{\text{н}} = 1,076$  – коэффициент доплат за работу в вечерние и ночные смены.

$$k_{\text{ЗПШ}} = 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,087 \cdot 1,14 \cdot 1,076 = 1,79$$

$$\text{ЗПШ}_{\text{осн}}^{\text{б}} = 0,06095,2 \cdot 1,79 = 10,23 \text{ руб.}$$

$$\text{ЗПШ}_{\text{осн}}^{\text{пр}} = 0,0384,87 \cdot 1,79 = 4,55 \text{ руб.}$$

Дополнительная определяется по следующей зависимости:

$$\text{ЗПШ}_{\text{доп}} = \frac{k_{\text{д}}}{100} \cdot \text{ЗПШ}_{\text{осн}} \quad (5.37)$$

где  $k_{\text{д}}$  – коэффициент - 10%.

Для базового варианта технологии

$$\text{ЗПШ}_{\text{доп}}^{\text{б}} = 10,23 \cdot 10/100 = 1,02 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$\text{ЗПШ}_{\text{доп}}^{\text{пр}} = 4,55 \cdot 10/100 = 0,45 \text{ руб.}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{б}} = 10,23 + 1,02 = 11,25 \text{ руб.}$$

$$\text{ФЗП}_{\text{пр}} = 4,55 + 0,45 = 5,00 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot N_{\text{соц}} / 100 \quad (5.38)$$

где  $N_{\text{соц}}$  – коэффициент отчислений, 30 %.

Для базового варианта технологии

$$O_{\text{CH}}^{\text{Б}} = 11,25 \cdot 30 / 100 = 3,37 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$O_{\text{CH}}^{\text{ПР}} = 5,00 \cdot 30 / 100 = 1,50 \text{ руб.}$$

Технологическая себестоимость

Для определения размера технологической себестоимости просуммируем все расходы, найденные выше:

$$C_{\text{ТЕХ}} = Z_{\text{М}} + Z_{\text{Э-Э}} + Z_{\text{ОБ}} + Z_{\text{ПЛ}} + \Phi\text{ЗП} + O_{\text{CH}} \quad (5.39)$$

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{Б}} = 19,99 + 0,77 + 0,44 + 0,02 + 11,25 + 3,37 = 35,84 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ТЕХ}}^{\text{ПР}} = 16,21 + 0,63 + 0,37 + 0,02 + 5,00 + 1,50 = 23,73 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + P_{\text{ЦЕХ}} \quad P_{\text{ЦЕХ}} \quad (5.40)$$

где  $P_{\text{ЦЕХ}}$  – финансовые затраты на цеховые расходы, руб.

$$P_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + k_{\text{ЦЕХ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad Z_{\text{ОСН}} \quad (5.41)$$

где  $k_{\text{ЦЕХ}}$  – коэффициент цеховых расходов, 1,72;

$Z_{\text{ОСН}}$  – основная зарплата, руб.

Для базового варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{Б}} = 35,84 + 10,23 \cdot 1,72 = 35,84 + 17,59 = 53,43 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{\text{ЦЕХ}}^{\text{ПР}} = 23,73 + 4,55 \cdot 1,72 = 23,73 + 7,82 = 31,55 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + P_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + k_{\text{ЗАВ}} \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (5.42)$$

где  $P_{ЗАВ}$  – финансовые затраты на заводские расходы, руб.

$k_{ЗАВ}$  – коэффициент заводских расходов, 1,97

Для базового варианта технологии

$$C_{ЗАВ}^Б = 53,43 + 10,23 \cdot 1,97 = 53,43 + 20,15 = 73,58 \text{ руб.}$$

Для проектного варианта технологии

$$C_{ЗАВ}^{ПР} = 31,55 + 4,55 \cdot 1,97 = 31,55 + 8,96 = 40,51 \text{ руб.}$$

#### Калькуляция себестоимости

Таблица 5.3 – Перечень и значения статей затрат на сварку одного стыка трубопровода

Показатели	Услов. обозн	Калькуляция, руб	
		базовый	Проект
2	3	4	5
Материалы	ЗМ	19,99	16,21
Фонд заработной платы	ФЗП	11,25	5,00
Отчисления на социальные нужды	О <sub>СН</sub>	3,37	1,50
Затраты на оборудование	З <sub>ОБ</sub>	0,44	0,37
Затраты на площади	З <sub>ПЛ</sub>	0,02	0,02
Затраты на электроэнергию	З <sub>Э-Э</sub>	0,77	0,63
Себестоимость технологическая	$C_{ТЕХ}$	35,84	23,73
Цеховые расходы		17,59	7,82
Себестоимость цеховая	$C_{ЦЕХ}$	53,43	31,55
Заводские расходы		20,15	8,96
Себестоимость заводская	$C_{ЗАВ}$	73,58	40,51

### 5.5 Определение показателей экономической эффективности предложенных технических решений

Величину прибыли, ожидаемой от снижения себестоимости сварки стыка, определим по формуле:

$$Pr_{ож.} = \Delta_{у.г.} = \left( C_{ЗАВ}^Б - C_{ЗАВ}^{ПР} \right) \cdot N_{пр} \quad (5.43)$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = (73,58 - 40,51) \cdot 500 = 16533,25 \text{ руб.}$$

Величину годового экономического эффекта, ожидаемого от внедрения технических решений, обеспечивающих увеличение производительности, определим по формуле:

$$\text{Э}_{\Gamma} = [(C_{\text{Зав}}^{\text{Б}} + E_{\text{Н}} \cdot K_{\text{Уд}}^{\text{Б}}) - (C_{\text{Зав}}^{\text{ПП}} + E_{\text{Н}} \cdot K_{\text{Уд}}^{\text{ПП}})] \cdot N_{\text{ПП}} \quad (5.44)$$

$$\text{Э}_{\Gamma} = [(73,58 + 0,33 \cdot 2,16) - (40,51 + 0,33 \cdot 56,48)] \cdot 500 = 7425 \text{ руб.}$$

Размер уменьшения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПП}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad (5.45)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,05 - 0,025}{0,05} \cdot 100\% = 50\%$$

Размер увеличения производительности труда

$$\Delta \Pi_{\Gamma} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (5.46)$$

$$\Delta \Pi_{\Gamma} = \frac{100 \cdot 50}{100 - 50} = 100\%$$

Срок окупаемости капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{общпр}}}{\text{Э}_{\text{уг}}} \quad (5.47)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{28240}{16533} \approx 1,7 \text{ года}$$

Коэффициент сравнительной экономической эффективности

$$E_{\text{ср}} = 1/T_{\text{ок}} = 1/1,7 = 0,58. \quad (5.48)$$

## 5.6 Выводы по разделу

Внедрение оборудования с большей производительностью позволило уменьшить на 50% трудоемкость сварки одного стыка, при увеличении производительности труда на 100%.

Для внедрения оборудования с большей производительностью нужны финансовые затраты в размере 28240 руб., которые окупятся через 1,7 года. Планируемый размер годового экономического эффекта составит 7425 руб.

Результаты выполненных расчетов позволяют сделать вывод о необходимости внедрения результатов бакалаврской работы в производственные условия.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализ базового технологического процесса сварки окраек вертикального резервуара показал, что его недостатки обусловлены недостатками механизированной сварки проволокой сплошного сечения.

Выполненный анализ возможных вариантов модернизации механизированной сварки позволил рекомендовать механизированную сварку с импульсной подачей присадочной проволоки. Разработан технологический процесс механизированной сварки с применением импульсной подачи присадочной проволоки.

Применение механизированной сварки с импульсной подачей проволоки по разработанной в бакалаврской работе технологии позволяет повысить производительность труда на 75%. При этом, рассчитанный в разделе «Экономическое обоснование» бакалаврской работы размер годового экономического эффекта составит 16000 руб.

Можно сделать вывод о достижении цели достижения цели бакалаврской работы

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Щекин, В. А. Технологические основы сварки плавлением : учеб. пособие для вузов. - Изд. 2-е, перераб / В. А. Щекин - Ростов н/Д. : Феникс, 2009. - 345 с.
2. Мейстер, Р. А. Нестандартные источники питания для сварки : учеб. пособие / Р. А. Мейстер. - ВУЗ/изд. - Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2004. - 96 с.
3. Пащенко, В.Н. Влияние состава плазмообразующей воздушно-газовой смеси на параметры струи плазмотрона / В.Н. Пащенко. // Автоматическая сварка. – 2009. – № 4. – С. 33–38.
4. Косинцев, В.И. Основы проектирования химических производств и оборудования / В.И. Косинцев [и др.] – Томск: Томский политехнический университет, 2013. – 395 с.
5. Действия населения в чрезвычайных ситуациях. Пособие. Под общей редакцией В.А. Владимирова. – М.: МЧС России, 1995.
6. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства: Учебник / Р. А. Фахрутдинов – М.: ИНФРА – М, 2001.– 672 с.
7. Гостюшин, А. В. Энциклопедия экстремальных ситуаций / А. В. Гостюшин. — М.: Изд. «Зеркало», 1995.-288 с.
8. Рыбаков, В.М. Дуговая и газовая сварка: Учеб. для сред. ПТУ / В.М. Рыбаков. - 2-е изд. перераб.- М.: Высш. школа, 1986.- 208 с.
9. Рыбаков, А.М. Сварка и резка металлов. Учебник для средних профессионально-технических училищ / А.М. Рыбаков. - М.: Высшая школа, 1977.
10. Malinov, L.S. Increasing the abrasive wear resistance of low-alloy steel by obtaining residual metastable austenite in the structure / L.S. Malinov, V.L. Malinov, D.V. Burova, V.V. Anichenkov // Journal of Friction and Wear. – 2015. – №3. – P. 237–240.
11. Enhancement of steels wear resistance in corrosive and abrasive medium / V. Kaplun, P. Kaplun, R. Bodnar, V. Gonchar // Interdisciplinary Integration of

- Science in Technology, Education and Economy : monograph /ed. by J. Shalapko, B. Zoltowski. – Bydgoszcz, 2013. – P. 320–329.
12. Думов, С. И. Технология электрической сварки плавлением: Учебник для машиностроительных техникумов / С.И. Думов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л.: Машиностроение, 1987. - 368 с.
  13. Райцес, В.Б. Износостойкие плазменные покрытия на основе двойного карбида титана–хрома / В.Б. Райцес, В.М. Литвин, В.П. Рутберг. [и др.] // Порошковая металлургия. – 1986. – № 10. – С. 46–47.
  14. Чебац, В.А. Сварочные работы: Учеб. пособие / В.А. Чебац - 3-е изд. перераб.- Ростов-на-Дону: изд. центр «Феникс», 2006. - 412 с.
  15. Lucas, W. Choosing a shielding gas. Pt 2 // Welding and Metal Fabrication. – 1992. – № 6. – P. 269–276.
  16. Dilthy, U., Reisinger U., Stenke V. et al. Schutzgase zum MAGM – Hochleistungsschweißen // Schweissen und Schneiden. – 1995. – 47, № 2. – S. 118–123.
  17. Dixon, K. Shielding gas selection for GMAW of steels // Welding and Metal Fabrication. – 1999. – № 5. – P. 8–13.
  18. Salter, G. R., Dye S. A. Selecting gas mixtures for MIG welding / G. R. Salter, S. A. Dye // Metal Constr. and Brit. Weld. J. – 1971. – 3, № 6. – P. 230–233.
  19. Cresswell, R. A. Gases and gas mixtures in MIG and TIG welding // Welding and Metal Fabrication. – 1972. – 40, № 4. – P. 114–119.
  20. Величко, О.А. Лазерная наплавка цилиндрических деталей порошковыми материалами / О.А. Величко, П.Ф. Аврамченко, И.В. Молчан, В.Д. Паламарчук // Автоматическая сварка. – 1990. – № 1. – С. 59–65.
  21. Шелягин, В.Д. Лазерно-микроплазменное легирование и нанесение покрытий на стали / В.Д. Шелягин, В.Ю. Хаскин, Ю.Н. Переверзев // Автоматическая сварка. – 2006. – № 2 – С. 3–6.
  22. Бабинцев, А.А. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование

- наплавленного металла / А.А. Бабинец, И.А. Рябцев, А.И. Панфилов [и др.] // Автоматическая сварка. – 2016. – № 11. – С. 20–25.
23. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
24. Жариков, С.В. Влияние экзотермической смеси в составе сердечника самозащитной порошковой проволоки на параметры наплавленного валика / С.В. Жариков // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганск: СНУ, 2010. – № 2. – С. 102–105.
25. Гофман, Я. Восстановление сменных деталей с помощью лазерных технологий // Автоматическая сварка. – 2001. – № 12. – С. 37–38.
26. Алешин, Н.П. Современные способы сварки: Учеб. пособие / Н.П. Алешин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 59 с.
27. Zhang, Y.M., Liguó E., Kovacevic R. Active metal transfer control by monitoring excited droplet oscillation // Welding Journal. 1998. Vol. 77. N 9. P. 388-s—394-s.
28. Фивейский, А.М. Новые процессы MIG/MAG сварки // Техсовет, 2010. № 4. С. 38.
29. Шолохов, М.А. Эффективность эксплуатации инверторных источников питания / М.А. Шолохов, А.М. Фивейский, Д.С. Бузорина, Е.В. Лунина // Сварка и диагностика, 2012. № 3. С. 53–55.
30. Бранд, М. Высокая производительность и отличное качество MIG/MAG сварки // Марко Бранд, А.М. Фивейский. Состояние и перспективы развития сборочно-сварочного производства: сборник докладов международной научно-технической конференции. Нижний Тагил, 2011. С. 71–78.