

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Сварка продольного шва опоры линии связи и электропередачи

Обучающийся

И.П. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., профессор Г.М. Короткова

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассматриваются вопросы, связанные с повышением эффективности сварочных операций при выполнении продольного шва в процессе изготовления металлических столбов, применение которых в линиях связи и электропередачи нашло широкое применение. Во введении представлено краткое состояние вопроса и обоснована актуальность выбранного направления исследования, сформулирована цель выпускной работы. В аналитическом разделе представлена конструкция столба и требования к сварному соединению, особенности сварки рассматриваемой стали и выполнения операций согласно базовой технологии. На основании литературного обзора выполнена постановка задач на выпускную работу. Экспертная оценка преимуществ и недостатков альтернативных способов сварки позволила обосновать выбор способа сварки для построения проектной технологии. На основании литературного поиска и анализа источников научно-технической информации предложены мероприятия по расширению технологических возможностей выбранного способа сварки. Была составлена проектная технология сборки и сварки многогранных опор. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Также в оценочном разделе проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса сварки, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе, показано достижение поставленной цели и направления дальнейших исследований.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных и известных решений по вопросу сварки многогранных опор на предприятиях Российской Федерации	7
1.1 Сведения о конструкции сварных многогранных опор.	7
1.2 Сведения о материале для изготовления элементов опоры	10
1.3 Особенности базовой технологии сборки и сварки.	11
1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике.	18
1.5 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	21
2 Построение проектной технологии сварки многогранного столба. ...	22
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	22
2.2 Расширение технологических возможностей сварки в защитных газах	28
2.3 Проектная технология сварки рассматриваемого изделия.	35
3 Промышленная безопасность производственного участка.	42
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	42
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	43
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	45
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	47
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	49
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	51
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	51
4.2 Фонд времени работы оборудования.	53
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	54

4.4 Заводская себестоимость.	56
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	61
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	63
Заключение	65
Список используемой литературы и используемых источников.	67

Введение

С середины 19-го века интенсивно развивается строительство линий электропередач. Основным элементом такой линии является опора, которая служит для воздушной прокладки провода. Первоначально для изготовления опор применялись деревянные столбы, которые в настоящее время могут быть использованы для прокладки линий напряжением 0,4...20 кВ и имеют срок службы порядка 40 лет [9]. Ранее деревянные опоры получили значительное распространение благодаря низкой стоимости, способности выдерживать неблагоприятные воздействия, высоким диэлектрическим свойствам и простоте изготовления. Однако деревянные опоры имеют критические недостатки, к которым относятся сложность в подборе опор по размеру, высокая повышенная гниения в условиях неблагоприятных экологических обстановок, высокая пожарная опасность. Кроме того, оперативную установку деревянных опор затрудняет их значительный вес, в результате чего повышается стоимость доставки опор при прокладке на значительные расстояния. Кроме того, повышение передаваемых мощностей заставило искать другие материалы для изготовления опор, в качестве которых послужили железобетон, металлические многогранные заготовки и металлические профильные заготовки [8].

Применение сборных опор из металлических профильных заготовок, несмотря на простоту доставки, ограничивается сложностью возведения, трудоемкость которой по сравнению с железобетонными опорами и многогранными опорами увеличивается в десять раз. Кроме того, высокая парусность сборных опор предъявляет повышенные требования к установочным работам. Также следует отметить более высокую опасность обледенения таких опор. Применение железобетонных опор позволяет избежать описанных трудностей, однако значительный вес опоры затрудняет её доставку и установку, для чего требуется применение специальной техники. Кроме того, железобетон подвержен сколам при транспортировке и

повреждению в результате неблагоприятных природных воздействий (циклы замерзания-оттаивания). Помимо этого, при возникновении внештатных ситуаций, например, столкновении автомобиля с опорой, зачастую происходит излом опоры, а ДТП сопровождается жертвами или значительными увечьями.

Применение многогранных опор позволяет устранить все описанные выше недостатки. Срок службы такой опоры превышает 50 лет, при этом, после установки, опора не требует обслуживания, обладает необходимой стойкостью по отношению к обледенению и ветровым нагрузкам. Кроме того, при столкновении автомобиля с опорой разрушения опоры не происходит, а пассажиры автомобиля получают меньшие травмы по сравнению со столкновением с железобетонной опорой. Также следует отметить высокую скорость и низкую стоимость доставки и установки металлических многогранных опор, так как они имеют значительно меньший вес, чем железобетонные опоры.

Основной операцией при изготовлении многогранных опор является сварка, от правильности выполнения которой зависит безопасность эксплуатации опоры [15]. Кроме того, развитие сварочных технологий делает возможным изготовление многогранных опор по индивидуальному проекту, что позволяет уменьшить затраты металла до 15% за счёт применения секций различного сечения [23], [27].

На основании изложенного следует признать высокую актуальность выбранного направления исследования, цель которых – повышение эффективности сварочных операций при изготовлении стальных многогранных опор.

«Для достижения поставленной цели необходимо основной упор сделать опираться на результатах отечественных исследователей в области выполнения протяженных сварных швов на металлических конструкциях, что позволит обеспечить независимость российской промышленности от поставок импортного высокотехнологичного оборудования» [3], [12], [19].

1 Анализ исходных данных и известных решений по вопросу сварки многогранных опор на предприятиях Российской Федерации

1.1 Сведения о конструкции сварных многогранных опор

В настоящее время при построении линий электропередач широко применяются сварные многогранные опоры, пример которых представлен на рисунке 1. Такие опоры отличаются значительным разнообразием и функциональностью, основной опоры является набор многогранных заготовок, на которые навешиваются дополнительные элементы в зависимости от функционала, который должен быть реализован при прокладке линии [26]. В частности, представленная на рисунке 2 промежуточная многогранная опора ПМ110-1Ф включает в себя три конические секции, которые вставляются друг в друга. Такая опора обладает высокой коррозионной стойкостью, так как покрыта специальным защитным покрытием, за счёт чего продолжительность эксплуатации опоры увеличивается на 10 лет по сравнению с аналогичными опорами без покрытия. Опора может успешно сопротивляться коррозии в условиях действия морской воды и агрессивных осадков.



Рисунок 1 – Примеры устройства многогранных сварных опор

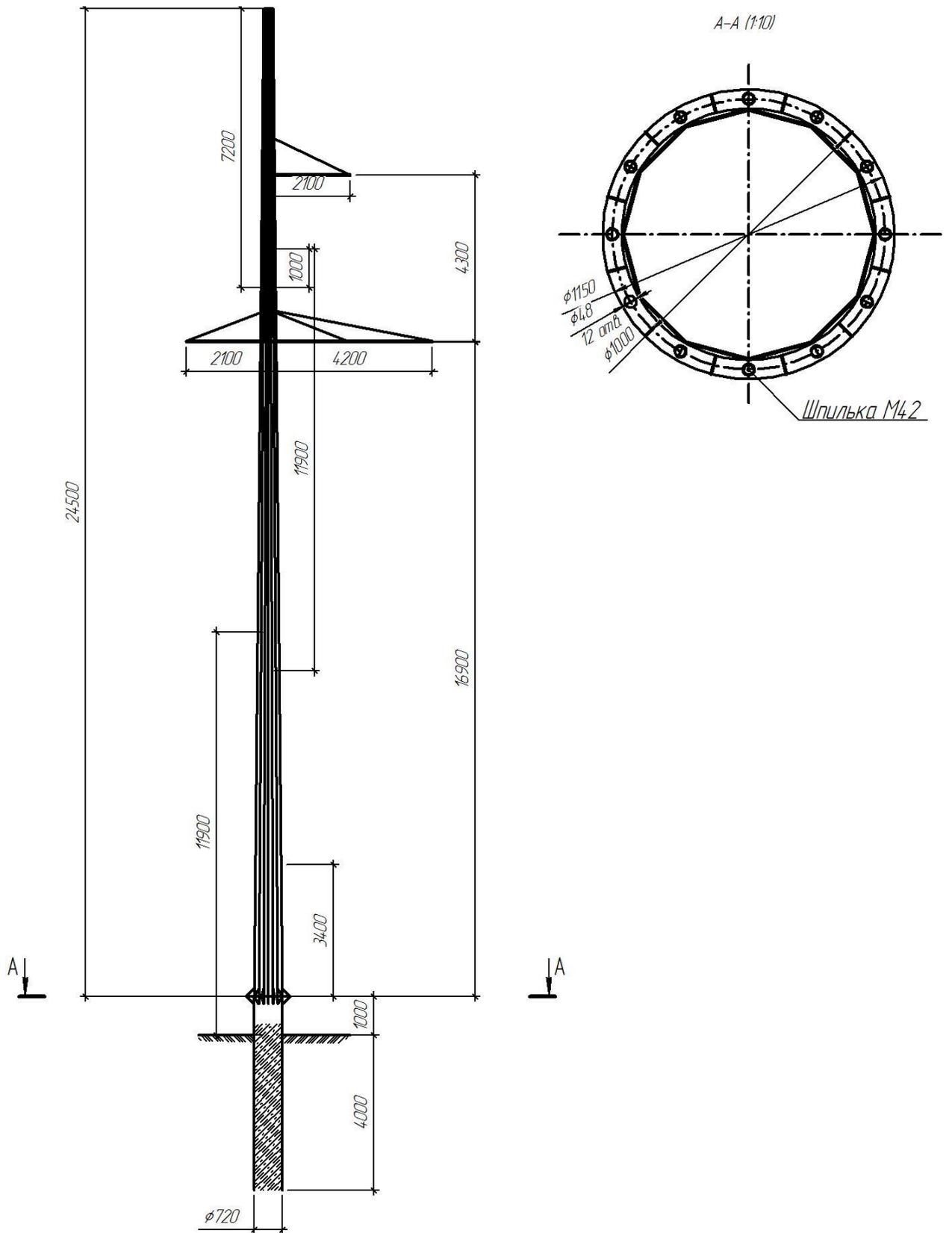


Рисунок 2 – Промежуточная многогранная опора в сборе

Также опора позволяет успешно воспринимать значительные удары и может применяться при прокладке линий электропередачи, которые работают при температурах окружающего воздуха от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такая опора позволяет передавать электрическую энергию напряжением до 110 кВ и выдерживает несколько циклов сборки и разборки. За счёт особенностей конструкции опоры обеспечивается простота её монтажа и демонтажа, а для установки опоры требуется минимальная площадь земельного участка. Критическая минусовая температура эксплуатации такой опоры составляет $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$. «В состав опоры входит три секции, первая секция имеет длину 10900 мм, вторая секция имеет длину 10900 мм, третья секция имеет длину 7200 мм. Для крепления линии электропередачи служат входящие в комплект опоры траверсы в количестве трех штук. Длина первой траверсы составляет 2100 мм, длина второй траверсы составляет 2100 мм, длина третьей траверсы составляет 4200 мм. Общая масса опоры в сборе составляет 2755 кг» [26].

Соединение секций в рассматриваемой опоре телескопическое, толщина металла стенки в каждой секции составляет 8 мм, продольный шов каждой секции выполнен с применением автоматической сварки под флюсом согласно ГОСТ 8713-79. Каждая секция опоры выполнена в виде многогранной обечайки. Согласно требованиям нормативной документации продольный сварной шов может быть также выполнен с применением ручной дуговой сварки и механизированной сварки в среде защитных газов.

Для упрощения сборки секций продольные швы на них с внутренней и наружной стороны на длину телескопического перекрытия зачищаются заподлицо с основным металлом. Длина перекрытия при телескопической сборке секций опоры составляет приблизительно 1,8 от среднего диаметра в месте соединения.

Защитное покрытие опоры представляет цинковый слой, наносимый на элементы опоры в заводских условиях. В случае повреждения защитного покрытия допускается нанесение защитного цинкового покрытия по месту на этапе возведения опоры.

1.2 Сведения о материале для изготовления элементов опоры

При изготовлении секций многогранных опор применяется строительная сталь С345 согласно ГОСТ 2772-88, содержание химических элементов в которой представлено в таблице 1. Сталь 345 служит для изготовления проката повышенной прочности. Маркировка стали указывает на класс прочности такой стали – 345. Такая сталь применяется для строительства мостов и опор линий электропередач, а также нагруженных конструкций металлических каркасов зданий.

Таблица 1 – «Химический состав строительной стали С345»

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu
до 0.15	до 0.8	1.3 - 1.7	до 0.3	до 0.04	до 0.035	до 0.3	до 0.012	до 0.3

Реакция стали С345 на термический цикл при сварке сходен с реакцией на термический цикл, характерной для низкоуглеродистых сталей. Однако следует указать на большую по сравнению с низкоуглеродистыми сталями склонность к образованию закалочных структур, что особенно сильно проявляется при повышенных скоростях охлаждения. Помимо феррита и перлита в металле сварного шва и околошовной зоне присутствуют [25] такие структуры, как остаточный аустенит, мартенсит и бейнит, которые в большинстве случаев характеризуются высокой степенью дисперсности и не оказывают отрицательного воздействия на свойства сварного соединения. При повышении погонной энергии сварки и скорости охлаждения количество образующихся закалочных структур увеличивается, в степень их дисперсности уменьшается, что приводит к появлению охрупченных участков, характеризующихся меньшей сопротивляемостью усталостному разрушению. Образованию таких структур и участков пониженной пластичности способствует большее по сравнению с низкоуглеродистыми сталями содержание в стали С345 марганца и кремния. Поэтому при выборе

способа сварки и назначении параметров режима сварки следует отдавать предпочтение способам, обеспечивающим меньшую погонную энергию. Также следует отметить сниженную стойкость металла сварного шва против «горячих трещин по сравнению со сваркой низкоуглеродистых сталей, что объясняется повышенным содержанием углерода и легирующих элементов. Для повышения стойкости против горячих трещин следует применять сварочные материалы с пониженным содержанием углерода, оптимизировать параметры режима сварки. Также следует ограничивать содержание» [25] в сварочных материалах серы и фосфора.

1.3 Особенности базовой технологии сборки и сварки

При изготовлении секции многогранных опор из рулона стального листа получают многогранные заготовки, которые сворачивают и сваривают продольным швом. На производственный участок листовой прокат поступает в виде рулона, который разматывается и подвергается правке, как это представлено на рисунке 3. Для выполнения операции применяется разматыватель рулона КР-10 (Россия), правильный станок АРSM (Турция), гильотинные ножницы. После того, как лист был выправлен и обрезан, его передают на операцию плазменной резки, прохождение которой представлено на рисунке 4. Портальная машина плазменной резки L-100 (Россия) раскраивает лист, придавая необходимый для конической заготовки контур.



Рисунок 3 – Раскручивание рулона и правка листа



Рисунок 4 – Плазменный раскрой листовых заготовок для получения конического профиля

На плазменной установке также выполняется разметка линий будущегогиба листовой заготовки для получения конической формы опоры. Далее заготовка поступает на тандемный гибочный пресс, представленный на рисунке 5, где происходит гибка по ранее размеченным линиям. Длина пресса составляет 12 метров, усилиегиба составляет 800 тонн. Из плоской листовой заготовки получается граненая разомкнутая труба конусной формы.



Рисунок 5 – Гибка листовых заготовок для получения конической секции

После гибки проводится операция сборки секции на специальном сборочном стенде, заготовки догибают и фиксируют положение концов при помощи ручной дуговой сварки, добиваясь смыкания продольного шва трубы с обеспечением по всей длине минимального равномерного зазора. Для выполнения ручной дуговой сварки применяется сварочный выпрямитель ВДУ-3006 и электроды УОНИ 13/55. Также при помощи ручной дуговой сварки приваривают входные и выходные планки продольного шва.

После выполнения сборки и прихватки проводят сварку продольного шва на конической секции при помощи автоматической сварки под флюсом, как это показано на рисунке 7. По окончании сварки коническая секция опоры под действием термических напряжений принимает изогнутую форму, для исправления которой применяется горизонтальный гидравлический пресс с передвижными опорами. Далее выполняется засверливание технологических отверстий и вырезка люков.



Рисунок 6 – Сборка секции с применением ручной дуговой сварки



Рисунок 7 – Сварка продольного шва на многогранной опоре

Перед выполнение сварки кромки и поверхность металла на расстоянии до 50 мм от кромок должны быть зачищены до металлического блеска. Также до металлического блеска следует выполнить зачистку мест примыкания входных и выходных планок. Для обработки кромок может быть применена «кислородная резка при условии последующей механической зачистки с удавлением окисленного металла на глубину не менее 2 мм. На поверхности

кромки не должно быть трещин и надрывов, остаточные следы от абразивного инструмента должны быть направлены вдоль кромок деталей.

Перед началом сборки все заготовки проверяются мастером, который должен убедиться в наличии клейм, маркировки и сертификатов. Также проверяется соответствие заготовок размерам и состоянию поверхности и кромок. Не должны присутствовать неровности, которые могут помешать последующей сборке. Все неровности должны быть удалены с образованием плавных переходов, запрещается наличие на поверхности вмятин, забоин, надрывов и трещин. Исключается попадание на поверхность деталей масла, влаги и других загрязнений, могущих повредить нормальному процессу сварки. Сборка пространственной конструкции выполняется на специальном «стеллаже» [25], обеспечивающем необходимую точность. Запрещается приложение к заготовкам ударных воздействий.

При сварке следует поддерживать стабильность питания дуги, колебание напряжения не должно превышать 5 % от номинального. Не допускается подключение к фидерам, питающим сварочные аппараты, других потребителей энергии, например, подъемных устройств. После выполнения сварки все швы должны быть очищены от шлака и брызг расплавленного металла. На сварочном участке должны храниться прокаленные сварочные материалы в количестве, составляющем половину потребности за смену, исключается попадание на сварочные материалы влаги.

Автоматическая сварка под флюсом продольного шва секции должна проводиться в закрытых помещениях при температуре не ниже 20 °С. Сварку можно начинать после приемки подготовительных работ мастером. Сварку ведут в нижнем положении. При сварке запрещается «выводить кратер за пределы сварного шва на основной металл. Удаление шлака выполняется после остывания сварного шва и потемнения поверхности шлака, что соответствует времени 1...2 минуты. Для удаления входной и выходной планок применяют электрические шлифовальные машины с абразивным кругом, остаточные следы от абразивного круга на металле должны быть

направлены вдоль свариваемых кромок» [25]. На рисунке 8 представлены требования к геометрии сварного шва. После выполнения сварки на детали наносят клеймо сварщика.

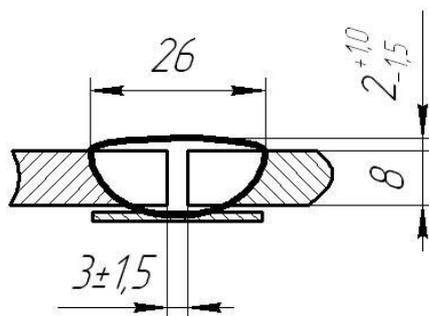


Рисунок 8 – Требования к геометрии сварного шва

Для питания сварочной дуги при автоматической сварке под флюсом применяют представленный на рисунке 9-а сварочный выпрямитель ВДМ-1201. «Сварку ведут с применением представленного на рисунке 9-б автомата АДФ-1202. При сварке принимают следующие параметры режима: диаметр сварочной проволоки составляет 4 мм, сварку ведут на постоянном токе обратной полярности силой 725...775 ампер, напряжение на дуге составляет 30...36 вольт при скорости сварки 30...34 метров в час. Сварку ведут проволокой Св-10ГА и с применением флюса АН-348-А. Содержание химических элементов в проволоке Св-10ГА представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание элементов в проволоке Св-10ГА» [25]

Mn, %	Ni, %	Cr, %	C, %	Si, %	P, %	S, %	N, %
1,1...1,4	до 0,3	до 0,2	до 0,12	до 0,06	до 0,03	до 0,025	до 0,01



Рисунок 9 – Оборудование для автоматической сварки под флюсом

Необходимое качество обеспечивается системой контроля сварочных работ, которая предусматривает входной, операционный и приемочный контроль. Перед выполнением сварки контролируются размеры подготовленных кромок, состояние поверхности свариваемых заготовок, точность сборки, равномерность зазора, смещение кромок и перелом осей, состояние сварочных материалов. В процессе сварки контролируют температуру нагрева деталей, порядок выполнения операций, параметры режима сварки, ширину валика сварного шва. После сварки контролируют состояние поверхности сварного шва и деталей, отделение шлаковой корки, размеры сварного соединения, поверхностные дефекты сварного шва. Для приемочного контроля проводят визуальный осмотр и замер сварного шва, ультразвуковой контроль сварного шва. Для визуального контроля применяют представленный на рисунке 10-а комплект, для ультразвукового контроля применяют представленный на рисунке 10-б дефектоскоп УД-2-12.



Рисунок 10 – Оборудование для контроля качества сварки

По результатам контроля качества не допускается наличие трещин всех видов и направлений. Поры должны иметь максимальный размер не более 1,6 мм. Между скоплениями пор должно быть расстояние не менее 96 мм, при этом площадь участка с порами не должна превышать 4 % от площади оцениваемого участка. Не допускаются свищи и газовые полости длиной более 1,6 мм. Не допускается наличие шлаковых включений размерами более

1,6 мм. В сварном шве не допускается наличие других металлов, не допускается наличие наплавлений и непроваров. Требуется обеспечить равномерный переход от наплавленного металла к основному металлу. Смещение кромок не должно превышать 0,8 мм. Неполное заполнение разделки не допускается, наплывы на основной металл не допускаются. Не допускается наличие брызг расплавленного металла, все брызги должны быть тщательно зачищены, так как в этих местах начинается коррозия при эксплуатации опоры в агрессивных средах.

Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с последующим контролем качества. Допускается не более двух повторных сварок на одном месте, после чего дефектный участок конструкции должен быть полностью удален с установкой ремонтной конструкции.

Главным недостатком базовой технологии следует признать применение ручной дуговой сварки, места выполнения которой становятся источниками дальнейших дефектов. Также следует отметить низкую производительность ручной дуговой сварки и вредные условия труда. Ещё одним недостатком следует признать применение автоматической сварки под флюсом, которая становится источником пористости сварного шва и заставляет повышать требования к точности сборки, так как в противном случае наблюдается вытекание расплавленного металла в зазор между деталями. Также при сварке под флюсом наблюдается укрупнение зерна металла, что становится причиной разрушений в ходе продолжительной эксплуатации опоры. Измельчение зерна позволит увеличить срок эксплуатации минимум на 10 лет.

1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике

Для обеспечения высокого технологического уровня решений задач выпускной квалификационной работы проведен поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки протяженных швов ответственных металлических конструкций. Для

поиска была применена сеть ИНТЕРНЕТ, поиск велся в системе GOOGLE по ключевым словам. Кроме того, поиск велся в базе научных статей «Киберленинка», в которой имеется значительное количество публикаций отечественных авторов по техническим направлениям. Также поиск велся в базе диссертаций «Диссеркэт», которая содержит значительное количество текстов диссертаций и авторефератов диссертаций по техническим направлениям, которые были защищены в последние 30 лет. Также для поиска была применена система «Е-Лайбрери», которая позволяет вести квалифицированный поиск по статьям и патентам российских авторов. Таким образом, для последующего анализа было выбрано пять работ.

В первом источнике научно-технической информации [5] изучен вопрос обеспечения качественного сварного шва при односторонней сварке за счёт повышения стабильности формирования обратного валика. Были изучены различные шлаковые системы, применяемые «для сварки под флюсом, ручной дуговой сварки и сварки порошковой проволокой. На основании исследований предложена подкладная лента и состав флюса, обеспечивающие благоприятное протекание металлургических и гидродинамических процессов в донной части сварочной ванны.

Результаты этой работы показывают высокую эффективность применения сварки под флюсом и сварки порошковой проволокой при выполнении протяженных сварных швов в условиях односторонней сварки. Данная работа будет использована при анализе альтернативных способов сварки и построении проектной технологии сварки» [5].

Во второй работе [18] было изучено влияние особенностей сборки и подготовки кромок на формирование сварного шва при выполнении автоматической и роботизированной сварки. В частности, изучалась дефектность сварного шва. Установлено, что значительное повышение стабильности качества в условиях геометрических возмущений может быть достигнуто при «применении систем технологической адаптации, позволяющих корректировать параметры режима сварки в зависимости от

фиксируемых системой отклонений стыка. Также значительное повышение стабильности качества может быть достигнуто при применении систем геометрической адаптации, позволяющих корректировать положение сварочной горелки в зависимости от условий сварки» [18].

Результаты данной работы показывают необходимость модернизации систем управления автоматической сваркой, позволяющих выполнять технологическую и геометрическую адаптацию процесса сварки в зависимости от условий. Высокую перспективность имеет роботизированная сварка, обеспечивающая как технологическую, так и геометрическую адаптацию.

В третьей работе [13] описаны результаты исследований в области повышения эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением процессом переноса электродного металла. В результате повышается стабильность горения дуги и формирования сварного шва. Также следует ожидать улучшения условий формирования обратного валика при выполнении протяженных сварных швов с односторонним подходом.

Результаты данной работы показывают широкие возможности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и будут использованы для обоснования выбора способа сварки построения проектной технологии сварки.

В четвертой работе [28] представлены результаты исследований в области повышения стабильности формирования сварного шва при автоматической сварке под флюсом. Для введения в сварочную ванну элементов-модификаторов предлагается применить дополнительную сварочную проволоку, которую вводят в сварочную ванну в нагретом состоянии. Это позволяет существенно снизить перегрев металла при сварке и улучшить условия формирования обратного валика сварного шва. Также наблюдается существенное повышение стойкости сварного шва против холодных трещин.

Результаты данной работы будут использованы при обосновании выбора способа сварки и построении проектной технологии сварки.

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

«Данная работа показывает высокую эффективность сварки порошковой проволокой и будет использована при обосновании выбора способа сварки для построения проектной технологии» [22].

«Таким образом, на основании анализа рассмотренных научных работ и опыта, накопленного в ходе обучения на кафедре сварки, для построения проектной технологии при изготовлении опор будут рассмотрены следующие способы сварки: ручная дуговая сварка, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка порошковой самозащитной проволокой, сварка под флюсом» [25]. Все перечисленные способы, кроме первого, могут быть с успехом автоматизированы, что позволит повысить экономические показатели предприятия при массовом производстве рассматриваемой продукции. Также при построении проектной технологии следует рассмотреть возможность применения технических решений по повышению эффективности выбранного способа сварки.

1.5 Постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Представленная к защите выпускная квалификационная работа посвящена решению вопросов, связанных с повышением эффективности сварки при изготовлении опор линии электрической передачи, в частности, продольного шва стыка при изготовлении секций многогранных опор.

Базовый технологический процесс предусматривает применение ручной дуговой сварки и автоматической сварки под флюсом, недостатки базовой технологии сформулированы выше. В ходе анализа источников научно-технической информации составлен список способов сварки, применение которых может быть целесообразным для построения проектной технологии сварки продольного шва секций многогранных опор. Правильная постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы обеспечит достижение поставленной цели наиболее эффективным методом. При выполнении первой задачи предстоит проведение экспертизы рассматриваемых способов сварки на предмет эффективности построения проектной технологии применительно к рассматриваемому изделию. При решении второй задачи предстоит предложить ряд технических решений, обеспечивающих повышение эффективности сварки в рассматриваемых условиях. При решении третьей задачи предстоит формулировка перечня операций и назначение условий их выполнения с указанием параметров режима и применяемого оборудования. Возможность и эффективность внедрения в производство выработанных решений будет рассмотрена при выполнении двух оценочных разделов. В первом разделе предстоит рассмотреть предлагаемые решения с точки зрения обеспечения промышленной и экологической безопасности [2], [4]. Во втором разделе предстоит оценить показатели производства, далее провести экономическое обоснование целесообразности внедрения предлагаемых в работе решений [10], [11].

2 Построение проектной технологии сварки многогранного столба

2.1 Обоснование выбора способа сварки

При выборе способа сварки необходимо руководствоваться технологическими критериями и реальными возможностями производства, в сочетании которых и лежит оптимальное решение по обоснованию применимости того или иного способа сварки [25]. Такими критериями, определяющими выбор способа сварки, являются состав свариваемого материала и толщина кромок, особенности свариваемости. Также значительное влияние на выбор способа сварки оказывает протяженность сварного отдельного шва, суммарная длина сварных швов в конструкции и их пространственное положение, возможность свободного доступа для выполнения сварных швов, прямолинейность траектории сварного шва. «Выбор способа сварки должен выполняться на основании приоритета автоматических и механизированных способов перед ручными способами сварки, что соответствует тенденциям развития современного сварочного производства. Далее на основании экспертной оценки преимуществ и недостатков каждого способа следует назначить способ сварки, который будет использован для построения проектной технологии» [25]. На основании анализа свойств материала для изготовления секций многогранных опор следует сделать вывод о его хорошей свариваемости. Рассматриваемая толщина может быть сварена с применением большинства известных способов сварки, ограничения по свариваемости нет. Так как рассматриваемый продольный шов имеет в длину несколько метров и является прямолинейным, то при его выполнении могут быть применены как механизированные, так и автоматические способы сварки. Также следует принимать во внимание, что сварка многогранных опор может быть с успехом роботизирована, о чем свидетельствует большое число иностранных источников в сети интернет. На рисунке 11 представлены примеры реализации

роботизированной сварки многогранных опор. На основании предварительного анализ технической возможности производства и технологических критериев для сварки в качестве альтернативных способов должны быть рассмотрены такие способы, как ручная дуговая сварка, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка порошковой самозащитной проволокой и сварка под флюсом.

На рисунке 12 представлена схема выполнения ручной дуговой сварки, которая может быть применена при выполнении монтажных швов, прихваток и приварке планок.



Рисунок 11 – Пример роботизированной сварки многогранных опор

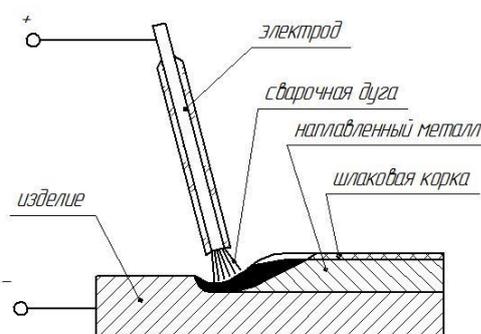


Рисунок 12 – Схема выполнения ручной дуговой сварки

При назначении способа сварки выбор на ручную дуговую сварку часто падает по причине высокой универсальности этого способа. Оборудование для его реализации в достаточном количестве имеется в резерве предприятия, что позволяет реализовать проектную технологию с минимальными капитальными затратами. Однако рынок сварочной техники и материалов, мониторинг которого периодически проводится отечественными и

зарубежными аналитиками [16], [17], предоставляет все более широкие возможности для замены ручной дуговой сварки более эффективными с точки зрения производительности и качества способами.

Снижение объемов использования ручной дуговой сварки при реализации технологических процессов на современном предприятии объясняется рядом присущих этому способу критических недостатков. Во-первых, ручная дуговая сварка характеризуется повышенным расходом дорогостоящего электродного материала, что происходит по причине неполного расходования электродов, так как часть электрода неминуемо уходит в огарки и впоследствии, в лучшем случае, утилизируется. Во-вторых, горение сварочных электродов сопровождается выделением значительного числа вредоносных веществ, заставляющих предусматривать мероприятия по повышению безопасности труда сварщика. В-третьих, качество соединений при ручной дуговой сварке в значительной степени определяется квалификацией исполнителя работ, что делает предприятие зависимым от кадрового состава. Расширение технологических возможностей ручной дуговой сварки возможно с применением разработок в области импульсного управления дугой и переносом электродного металла, однако полного устранения описанных выше проблем при этом не достигается.

На рисунке 13 представлена схема выполнения сварки в защитных газах. Этот способ может выполняться как с использованием полуавтоматов, так и в автоматическом режиме с применением сварочных тракторов и роботов. По сравнению с ручной дуговой сваркой этот способ является более перспективным, так как превосходит её по производительности и качеству. Также следует принимать во внимание улучшение условий труда при переходе на сварку в защитных газах. Также сварке в защитных газах толщина образующейся шлаковой корки незначительная и не нарушает нормальное протекание процесса сварки, что позволяет повысить производительность, так как нет необходимости проведения послойной очистки металла сварного шва. В-третьих, при сварке нет потерь электродного материала на огарки и затрат

времени на смену электродов, что положительно сказывается на производительности, экономичности и качестве получения сварных соединений. Также следует принимать во внимание высокий потенциал механизированной сварки в защитных газах, который раскрывается при применении импульсного управления горением дуги и переносом электродного металла [6], [7], [21]. Рассматриваемый способ сварки может быть легко автоматизирован и роботизирован.

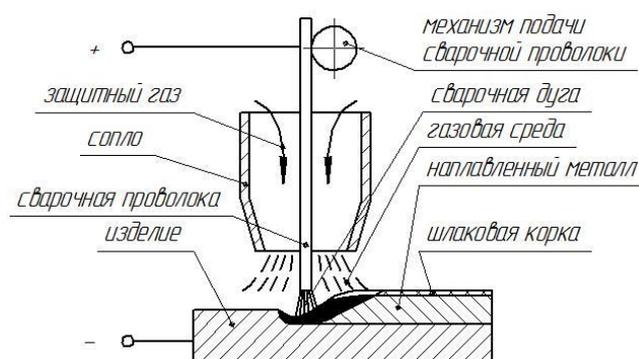


Рисунок 13 – Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах

«Реализация технологических процессов с применением сварки в защитных газах заставляет считаться с недостатками этого способа. Во-первых, при сварке наблюдается повышенное разбрызгивание электродного металла» [25], что делает необходимым трудоемкую зачистку поверхности деталей, так как прилипшие брызги расплавленного металла ухудшают внешний вид и становятся очагами коррозии. Во-вторых, при сварке в защитных газах из-за повышенной вязкости расплавленного металла увеличивается вероятность появления в сварном шве трещин, ухудшаются условия отхождения из сварочной ванны газов.

На рисунке 14 представлена схема выполнения сварки порошковой самозащитной проволокой. «Этот способ сварки позволяет сочетать преимущества ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах. При использовании порошковой проволоки упрощается легирование сварного шва, так как состав порошкового наполнителя проволоки может быть изменен в широком диапазоне без изменения технологии производства

проволоки» [25], что существенно снижает стоимость сварочных материалов при массовом их производстве. В числе недостатков сварки самозащитными проволоками следует указать повышенную мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлака и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений.

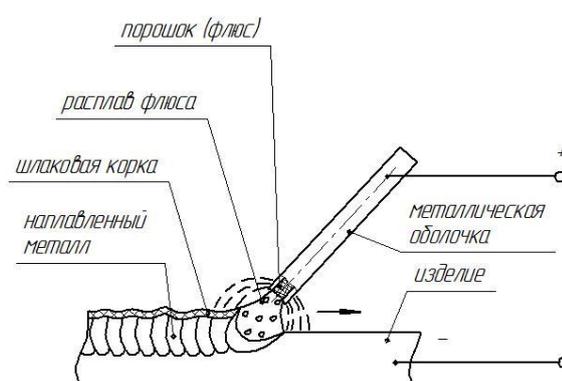


Рисунок 14 – Схема выполнения сварки самозащитной проволокой

На рисунке 15 представлена схема выполнения сварки под флюсом, которая выполняется в автоматическом режиме с применением сварочных тракторов и может быть выполнена с применением роботов, однако роботизация этого способа встречает трудности из-за значительных габаритов сварочной головки, в основном, примеры применения промышленных роботов для сварки под флюсом представлены в зарубежных источниках. Помимо высокой производительности для этого способа сварки следует признать существенное улучшение условий труда, так как сварочная дуга горит под слоем флюса, что частично решает проблему вредного излучения и сварочного аэрозоля. Кроме того, сварка под флюсом позволяет получать

соединения стабильно высокого качества. Однако, несмотря на перечисленные преимущества, рассматриваемый способ сварки имеет ряд недостатков, ограничивающих его применение при ремонтной сварке технологических трубопроводов. Первым недостатком является повышение требований к сборке стыка, так как расплавленный металл и шлак при сварке под флюсом обладают повышенной текучестью, в результате чего возможно затекание «металла в зазор между деталями. Кроме того, при сварке под флюсом повышается опасность образования непроваров, пор и шлаковых включений. Также следует принимать во внимание сложность удержания флюса на поверхности многогранных заготовок» [25].

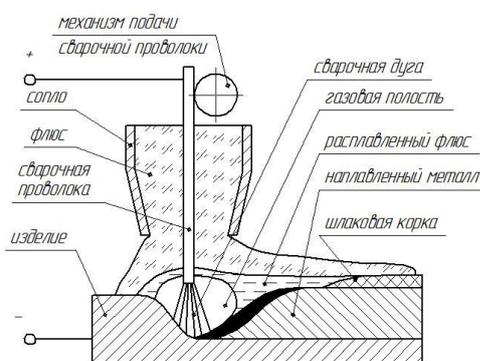


Рисунок 15 – Схема выполнения сварки под флюсом

Предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, что «позволит повысить технологическую гибкость по сравнению с автоматической сваркой под флюсом. При сварке в защитных газах за счёт уменьшения вложения тепла в основной металл удастся получить мелкую зернистость металла. Расширение технологических возможностей сварки» [14] в защитных газах становится возможным за счёт внедрения способов импульсного управления, разработка которых интенсивно ведется отечественными и зарубежными исследователями-сварщиками. При условии внедрения российских разработок в области управляемого переноса электродного металла удастся не только повысить экономические показатели производства, но и продвинуться в направлении обеспечения промышленного суверенитета [3], [14], [19].

2.2 Расширение технологических возможностей сварки в защитных газах

В настоящее время на мировом рынке сварочного оборудования представлено достаточное количество промышленных образцов, реализующих алгоритмы импульсного управления горением сварочной дуги и переносом электродного металла. Работы в этом направлении продолжаются и ведутся как в мировых научных центрах, так и в российских исследовательских коллективах. Как показала практика [24], применение импульсного режима горения сварочной дуги и переноса электродного металла позволяет повысить стабильность формирования шва с узкой разделкой. Также существенно улучшается формирование корневого слоя шва. На рисунке 16 представлены макрошлифы соединений, которые были получены при сварке в узкую разделку (показана штриховкой) с импульсным формированием сварочной дуги. Кроме того, при реализации импульсного управления горением сварочной дуги удается успешно бороться с разбрызгиванием и выгоранием электродного металла, что существенно улучшает внешний вид сварной конструкции и уменьшает трудоемкость её изготовления. Достигаемая повышенная проплавливающая способность дуги упрощает проведение сварочных работ особенно при выполнении длинномерных швов в узкую разделку.

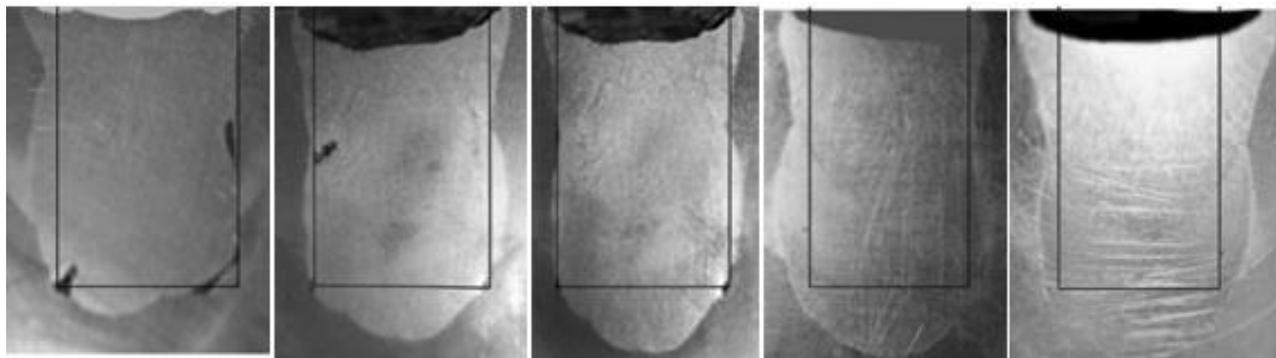


Рисунок 16 – Формирование шва при сварке в узкую разделку импульсной дугой

При реализации алгоритма импульсного управления сварочной дугой и переносом электродного металла необходимо предусмотреть следующие особенности параметров режима. «Во-первых, следование импульсов сварочного тока происходит с задаваемой частотой, лежащей в диапазоне от 30 до 330 Гц, эта частота зависит от скорости подачи сварочной проволоки. Во-вторых, за один импульс сварочного тока происходит переход в сварочную ванну одной капли расплавленного электродного металла. В-третьих, величина тока при импульсной сварке характеризуется несколькими значениями, частности, максимальным и минимальным, причём максимальное значение тока соответствует параметрам сварки на длинной дуге, а минимальное значение соответствует дежурному току дуги» [24].

Предлагаемое российскими исследователями-сварщиками устройство [20] для реализации импульсного управления сварочной дугой представлено на рисунке 17. В состав предлагаемого устройства входит стандартный сварочный выпрямитель, обозначенный на функциональной схеме позицией 1. Подключение сварочной проволоки и изделия к источнику питания выполняется через схему, в состав которой входит набор конденсаторов 11 и дросселей 12, которые формируют сварочные импульсы. Зарядка набора конденсаторов проходит через «зарядный дроссель 8 и блокирующий диод 9 от сварочного выпрямителя 1, который включен параллельно фильтрующему конденсатору 2. Управление работой формирователя импульсов осуществляется через вспомогательный тиристор 7 и силовой тиристор 3. Последовательно со сварочной проволокой к цепи формирования импульсов подключается сглаживающий дроссель 4 и обратный диод 5. Вспомогательный тиристор 7 подключен параллельно коммутирующему дросселю 6» [20]. Дополнительный диод 10 включен в схему параллельно набору конденсаторов 11.

На рисунке 18 представлен результат работы предлагаемой схемы в сравнении с традиционной сваркой стационарной дугой.

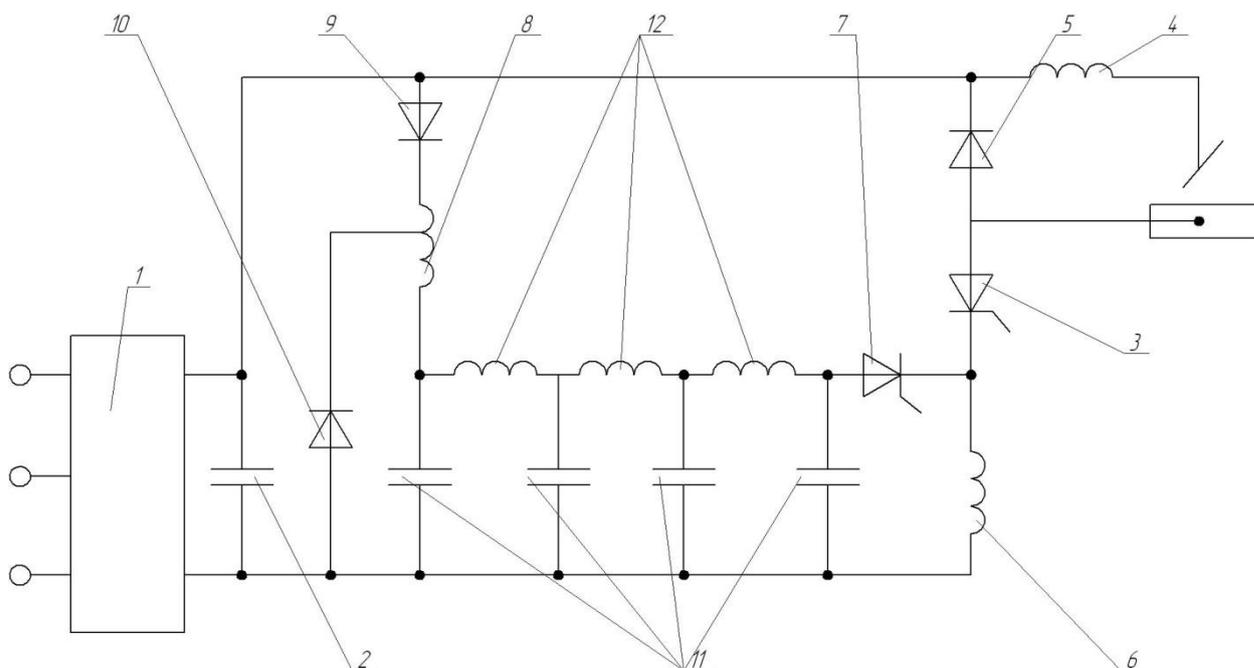


Рисунок 17 – Функциональная схема предлагаемого формирователя сварочных импульсов

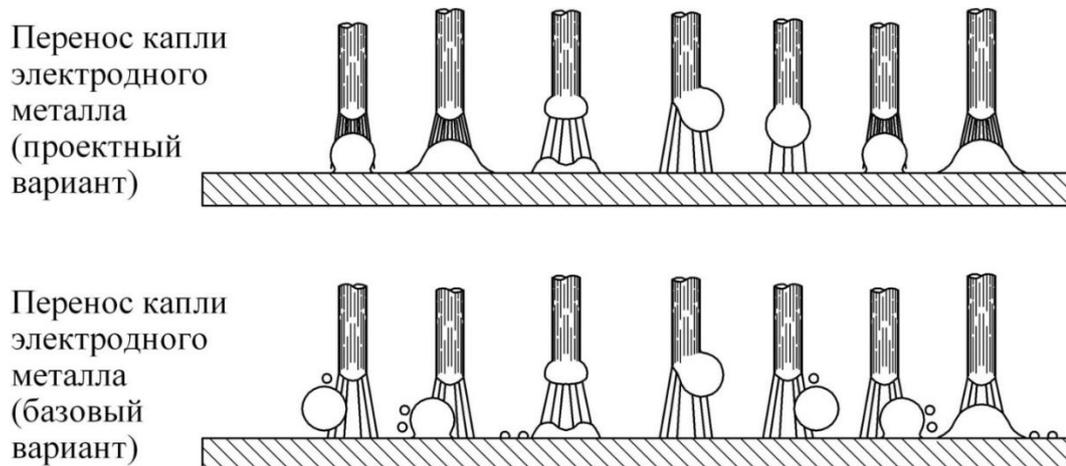


Рисунок 18 – Сравнение результата сварки с применением предлагаемого формирователя импульсов и традиционной сварки стационарной дугой

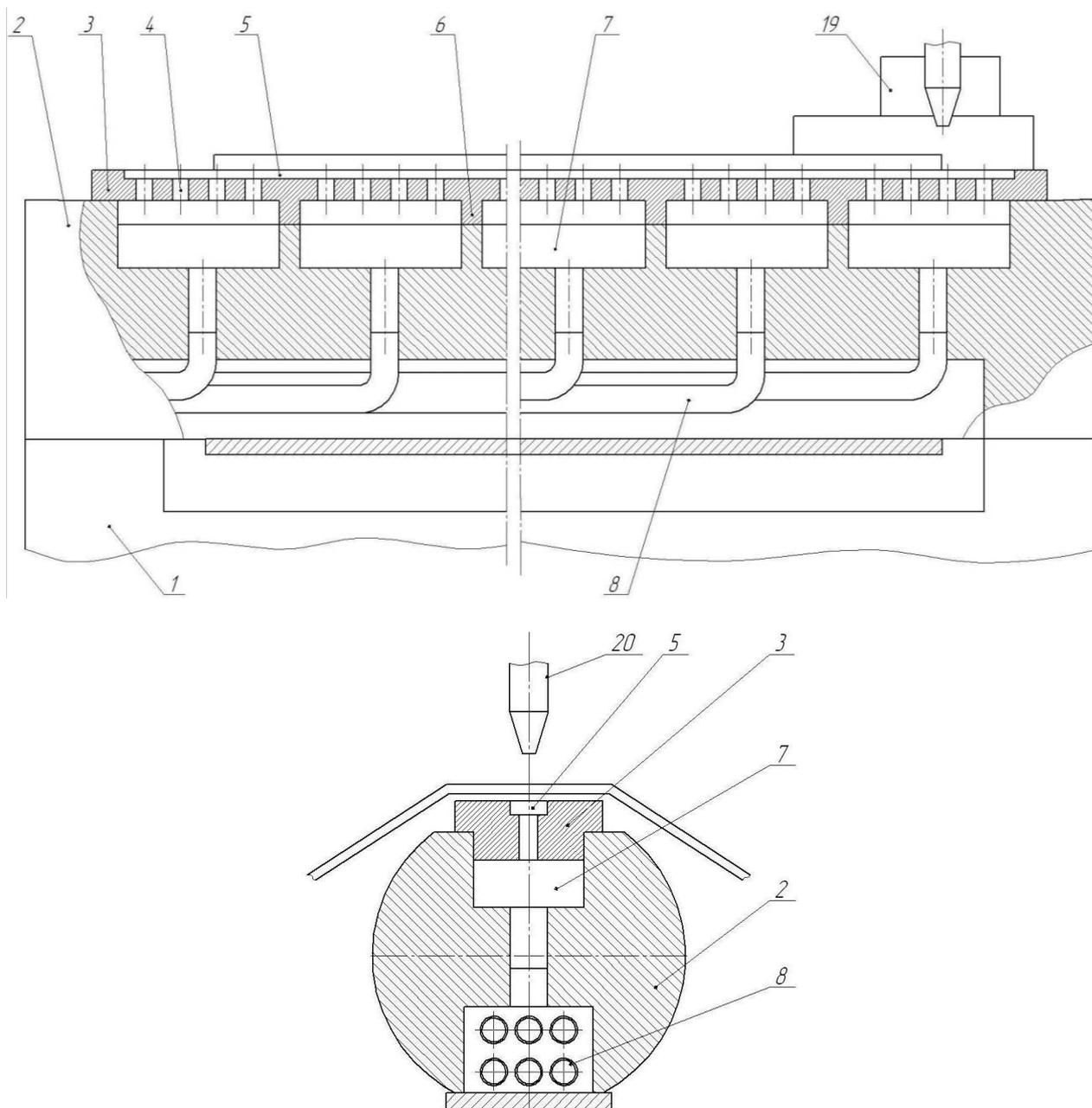
Реализация предлагаемого алгоритма импульсного управления позволяет формировать сварочную дугу, которая характеризуется высокой пространственной устойчивостью и позволяющую получать стабильное качество при выполнении длинномерных швов в узкую разделку. Импульсный характер горения дуги обеспечивает полноту выделения растворенных в сварочной ванне газов, что позволяет успешно бороться с образованием пор.

Для повышения качества сварки длинномерных швов предлагается применить устройство, разработанное российскими исследователями-сварщиками [31], функциональная схема которого представлена на рисунке 19. Предлагаемое устройство содержит «основание 1 с поворотной балкой 2. В паз балки 2, расположенный в верхней ее части, помещен вкладыш 3 с отверстиями 4, канавкой 5 для формирования корня шва и перегородками 6, образующими стационарные газовые камеры 7, имеющие длину, равную половине длины наименьшей зоны защиты обратной стороны шва. Длина зоны защиты обратной стороны шва 1 зависит от материала и толщины свариваемой обечайки и параметров режима сварки» [1].

«К каждой стационарной газовой камере 7 подведены газовые каналы 8, соединяющие их через блок 9 ротаметров с магистралью 10 подачи защитного газа.

Блок 9 ротаметров состоит из ряда ротаметров 11, соединенных с газовой магистралью 10 через золотники 12, электромагниты 13 которых подключены с одной стороны к общей линии 14 питания, с другой стороны - к блоку 15 логического управления газом» [1].

«Блок 15 логического управления газом содержит соответствующее числу ротаметров количество логических ячеек 16 управления, состоящих из транзисторного усилителя с несколькими резисторно-диодными входами каждая. Логические ячейки 16 управления своими выходами связаны с электромагнитами 13 золотников 12 ротаметров 11, а входами связаны с соответствующими путевыми выключателями 17, которые взаимодействуют с кулачком 18 подвижной каретки 19, на которой закреплена сварочная горелка 20» [31]. На рисунке 20 представлена функциональная схема работы системы подачи защитного газа. : «в исходном положении горелка 20 находится в начале стыка обечайки на стационарной камере 7 и взаимодействует с соответствующим путевым выключателем 17, который через блок 15 логического управления газом дает команду на открытие золотников 12 блока 9 ротаметров» [1].



«1 - основание, 2 - балка, 3 - вкладыш, 4 - отверстия вкладыша, 5 - канавка для формирования корня шва, 6 - перегородки, 7 - газовые камеры, 8 - газовые каналы, 9 - блок ротаметров, 10 - газовая магистраль, 11 - ротаметры, 12 - золотники, 13 - электромагниты золотников, 14 - линия питания, 15 - блок управления газом, 16 - логическая ячейка управления, 17 - путевые выключатели, 18 - кулачок каретки, 19 - подвижная каретка, 20 - сварочная горелка» [1]

Рисунок 19 – Стенд для сварки продольных швов

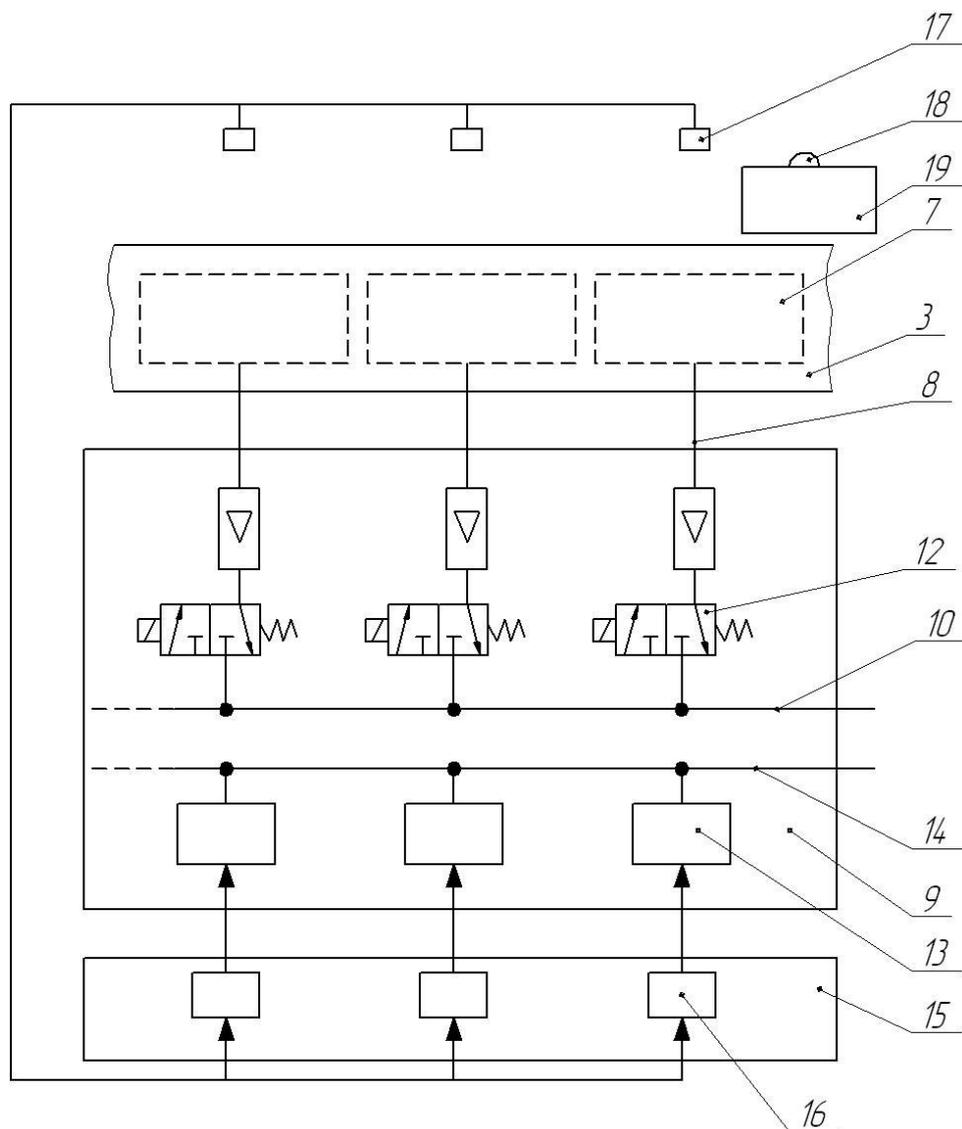


Рисунок 20 – Функциональная схема работы системы подачи защитного газа

Система подачи защитного газа настроена таким образом, что при перемещении сварочной горелки защитный газ подается в полном объеме в камеру, расположенную напротив сварочной горелки, а в последующую камеру подача газа производится половинная, что позволяет продуть объем последующей камеры, и при этом не допустить перерасхода защитной смеси.

Настройка алгоритма подачи защитного газа выполняется посредством регулирования состояния золотников 12 через выключатели 17 и состояние регулирующих резисторов 16. Перемещение сварочной горелки 20 отслеживается системой концевых выключателей 17 и положением кулачка 18 на подвижной каретке 19.

В работе [18] изучалось влияние неточности сборки а стабильность качества при автоматической и роботизированной сварке. На рисунке 21 представлена диаграмма изменения притупления кромок при сварке протяженного шва, которое было получено при помощи системы слежения триангуляционного типа «Штрих-2» совместной разработки МГТУ им. Н.Э. Баумана и ООО «РИФТЭК» (Беларусь). На рисунке 22 представлена диаграмма превышения кромок вдоль стыка при выполнении протяженного сварного шва, которое было измерено на том же оборудовании.

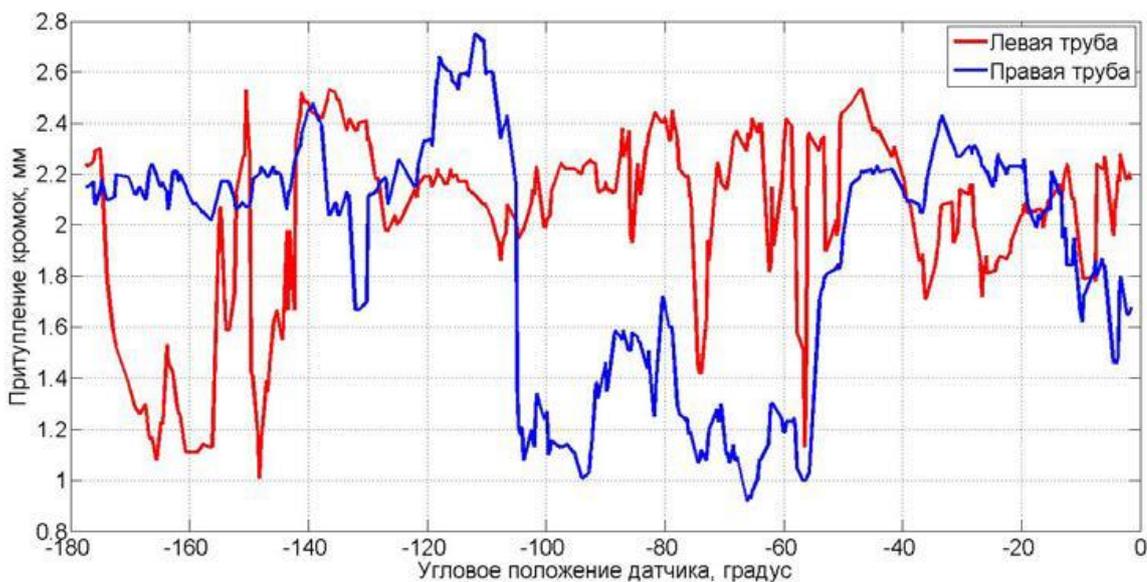


Рисунок 21 – Изменение притупления кромок

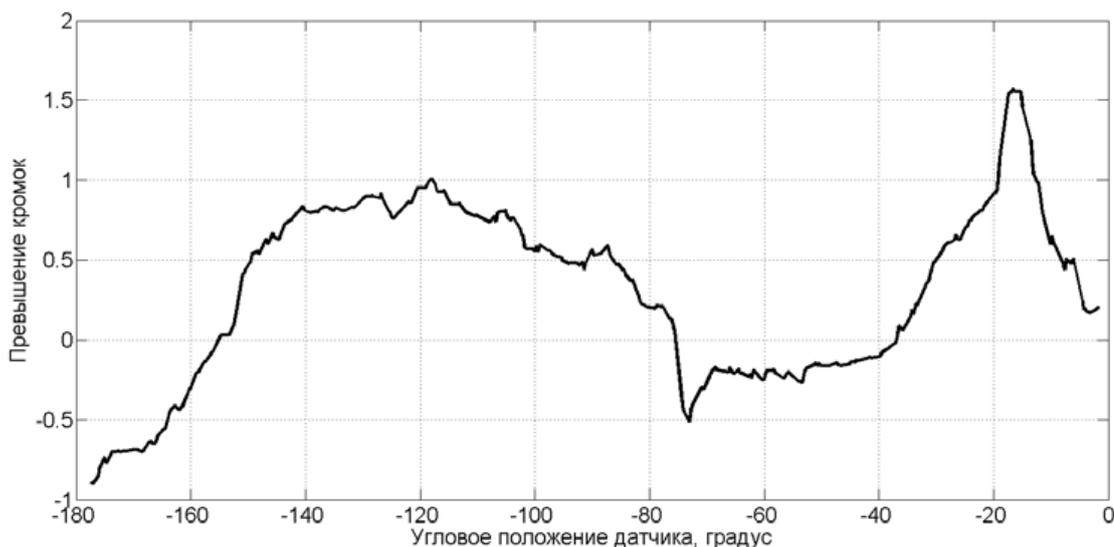


Рисунок 22 – Превышение кромок вдоль кольцевого стыка

В ходе проведенных исследований «получены критические значения параметров разделки, превышение которых при автоматической и роботизированной сварке приведет к образованию дефектов. Повышение стабильности качества автоматической и роботизированной сварки возможно за счёт увеличения критических значений геометрических возмущений, что достигается методами технологической адаптации (автоматическая коррекция параметров режима сварки) и геометрической адаптацией (автоматическое изменение траектории и ориентации сварочной горелки в зависимости от условия сварки)» [25].

2.3 Проектная технология сварки рассматриваемого изделия

Проектная технология сварки опор предполагает выполнение последовательности операций, часть из которых взята без изменения из базовой технологии/, а часть изменена в соответствии с предлагаемыми в настоящей выпускной квалификационной работе решениями. На рисунке 23 представлен прокат, поступающий на производственный участок в виде рулонов. Далее рулоны поступают на разматыватель и правильный станок APSM, который также представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 – Правка листового проката для получения заготовок

Нарезку листов выполняют на представленной на рисунке 24 гильотинной машине. После того, как лист был выправлен и обрезан, его передают на операцию плазменной резки, прохождение которой представлено на рисунке 25. Портальная машина плазменной резки L-100 (Россия) раскраивает лист, придавая необходимый для конической заготовки контур.



Рисунок 24 – Гильотинная машина для нарезки листового проката



Рисунок 25 – Машина плазменной резки

При помощи плазменной струи на поверхности заготовок формируются риски, по которым проходят линий будущегогиба для получения конической формы опоры. Далее заготовка поступает на тандемный гибочный пресс, где происходит гибка по ранее размеченным линиям. Длина пресса составляет 12 метров, усилиегиба составляет 800 тонн. Из плоской листовой заготовки получается граненая разомкнутая труба конусной формы.

С применением гибочного станда выполняют сборку секции опоры, догибая заготовки в необходимый размер. После смыкания продольного шва трубы выполняют прихватку с применением механизированной сварки в защитных газах. При этом применяется представленный на рисунке 26 сварочный выпрямитель ВДГ-303 и механизм подачи проволоки ПДГ-312. Для формирования сварочных импульсов применяется устройство, схема и принцип действия которого описаны в предыдущем разделе настоящей выпускной квалификационной работы.

Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности проволокой диаметром 1,2 мм. Величина сварочного тока составляет 130...180 ампер при вылете проволоки 13...20 мм. Расход защитного газа составляет 7...9 литров в минуту. Также при помощи дуговой сварки приваривают входные и выходные планки продольного шва, применение которых при автоматической сварке протяженных швов позволяет избежать образования дефектных зон в начале и конце шва..



Рисунок 26 – Применяемый при сварке согласно реализуемой проектной технологии сварочный выпрямитель и механизм подачи проволоки

После выполнения сборки и прихватки проводят сварку продольного шва на конической секции при помощи автоматической сварки в защитном газе, как это показано на рисунке 27. По окончании сварки коническая секция опоры под действием термических напряжений принимает изогнутую форму, для исправления которой применяется горизонтальный гидравлический пресс с передвижными опорами. Далее выполняется засверливание технологических отверстий и вырезка люков.

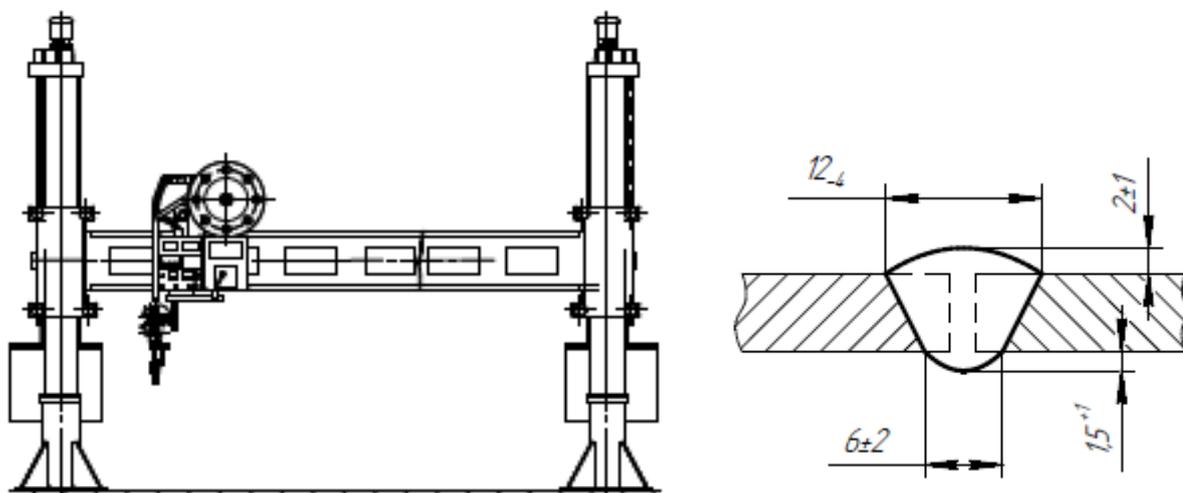


Рисунок 27 – Сварка продольного шва на секции опоры многогранной

Для питания сварочной дуги при автоматической сварке в защитных газах применяют представленный на рисунке 28 сварочный выпрямитель ВДМ-1201. Линейное перемещение сварочной горелки вдоль стыка обеспечивается с применением сварочного портала, который представлен на рисунке 29. При сварке принимают следующие параметры режима: диаметр сварочной проволоки составляет 1,6 мм, сварку ведут на постоянном токе обратной полярности силой 240...260 ампер, напряжение на дуге составляет 27...29 вольт при скорости сварки 29...32 метров в час. Сварку ведут проволокой Св-08Г2С с формированием защитной атмосферы из углекислого газа.



Рисунок 28 – Сварочный выпрямитель ВДМ-1201



Рисунок 29 – Сварочный портал для линейного перемещения горелки при изготовлении опор многогранных

Автоматическая сварка продольного шва секции должна проводиться в закрытых помещениях при температуре не ниже 20 °С. Сварку можно начинать после приемки подготовительных работ мастером. Сварку ведут в нижнем положении. При сварке запрещается выводить кратер за пределы сварного шва на основной металл. Удаление шлака выполняется после остывания сварного шва, что соответствует времени 1...2 минуты. Для удаления входной и выходной планок применяют электрические шлифовальные машины с абразивным кругом, остаточные следы от абразивного круга на металле должны быть направлены вдоль свариваемых кромок.

Перед выполнением сварки контролируются размеры подготовленных кромок, состояние поверхности свариваемых заготовок, точность сборки, равномерность зазора, смещение кромок и перелом осей, состояние сварочных материалов. В процессе сварки контролируют температуру нагрева деталей, порядок выполнения операций, параметры режима сварки, ширину валика сварного шва. После сварки контролируют состояние поверхности сварного шва и деталей, отделение шлаковой корки, размеры сварного соединения, поверхностные дефекты сварного шва. Для приемочного контроля проводят визуальный осмотр и замер сварного шва, ультразвуковой контроль сварного шва. По результатам контроля качества не допускается наличие трещин всех видов и направлений. Поры должны иметь максимальный размер не более 1,6 мм. Между скоплениями пор должно быть расстояние не менее 96 мм, при этом площадь участка с порами не должна превышать 4 % от площади оцениваемого участка. Не допускаются свищи и газовые полости длиной более 1,6 мм. Не допускается наличие шлаковых включений размерами более 1,6 мм. В сварном шве не допускается наличие других металлов, не допускается наличие несплавлений и непроваров. Смещение кромок не должно превышать 0,8 мм. Неполное заполнение разделки не допускается, наплывы на основной металл не допускаются. Не допускается наличие брызг расплавленного металла, все брызги должны быть тщательно зачищены, так как в этих местах начинается коррозия при эксплуатации опоры в агрессивных средах.

Дефектное место следует зачистить механическим способом и переварить с последующим контролем качества. Допускается не более двух повторных сварок на одном месте, после чего дефектный участок конструкции должен быть полностью удален с установкой ремонтной конструкции.

Выводы по второму разделу

В предыдущем разделе проведена постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы, решение которых описано в данном разделе, который является исполнительским и посвящен формированию технических и технологических предложений по улучшению базового технологического процесса сборки и сварки опор многогранных. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков рассматриваемых способов сварки для построения проектной технологии предложено применить механизированную и автоматическую сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Повышение эффективности выбранного способа сварки достигнуто за счёт применения разработанных российскими исследователями-сварщиками решений. С применением предлагаемого алгоритма и электронной схемы обеспечено протекание дуговой сварки в импульсном режиме. Реализация предлагаемого алгоритма импульсного управления позволяет формировать сварочную дугу, которая характеризуется высокой пространственной устойчивостью и позволяющую получать стабильное качество при выполнении длинномерных швов в узкую разделку. Импульсный характер горения дуги обеспечивает полноту выделения растворенных в сварочной ванне газов, что позволяет успешно бороться с образованием пор. Для обеспечения качества выполнения протяженного шва предложено устройство, обеспечивающее требуемую точность сборки и защиту корня шва. Составленная проектная технология сварки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования. Далее следует выполнить два оценочных раздела. В первом оценочном разделе, следует выполнить идентификацию негативных производственных факторов и предложить меры защиты от них. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

В ранее представленном исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы представлены технические мероприятия и средства, обеспечивающие повышение эффективности сварочных работ при изготовлении опор линий электропередач и связи. В частности, рассматривался вопрос сварки продольного шва. Решение о возможности внедрения предлагаемых решений в современное производство должно приниматься на основании анализа возможности обеспечения безопасности труда и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка. Для оценки технологического процесса в таблице 3 представлена укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки, которая позволяет получить необходимую информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что является достаточным для идентификации опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию.

Такие операции, как входной контроль и контроль качества, выполняются с привлечением дефектоскопистов. Такая операция, как сборка, выполняется с привлечением слесаря-сборщика. Сварочная операция выполняется с привлечением сварщика и автоматических электросварочных машинах. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или вредные).

Таблица 3 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки продольного шва на опоре линии электропередач и связи

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Входной контроль»	Дефектоскопист	- лупа, - набор ВИК	круг абразивный
Сборка	Слесарь-сборщик	- машина угловая шлифовальная, - сборочный стенд, - линейка металлическая	смесь пропан-бутановая
Сварка	Электросварщик	- сборочный стенд, - сварочный выпрямитель, - сварочный автомат	- проволока сварочная - защитный газ
Контроль качества» [25]	Дефектоскопист	- лупа, - дефектоскоп, - набор ВИК	Масло

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

Краткая характеристика проектного технологического процесса позволяет приступить к «идентификации негативных производственных факторов. При реализации проектного технологического процесса негативные производственные факторы возникают по причине применяемого оборудования. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными» [4] участками. Также на участке имеется оборудование, работающего при опасных уровнях напряжения и тока. В таблице 4 представлен перечень возникающих опасных и вредных производственных факторов. В случае, если фактор не оказывает негативного действия на персонал, его принимают нейтральным и далее не анализируют.

Таблица 4 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Входной контроль	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Сборка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - повышенная температура поверхностей
Сварка	<ul style="list-style-type: none"> - чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - движущиеся части машин и механизмов - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок

Рассматриваемые неблагоприятные производственные факторы могут быть отнесены к «вредным производственным факторам и опасным производственным факторам. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний» [4] или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. Ко второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая. Идентифицированные факторы относятся к факторам, ранее возникающим на предприятии, для их нейтрализации может быть применен стандартный набор средств.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Ранее выполнена идентификация негативных факторов производства, в ходе которой составлен перечень опасных и вредных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015. В таблице 5 представлены технические средства и мероприятия, эффективность которых следует оценить для принятия решения о применении стандартных решений из арсенала предприятия и обоснования отсутствия необходимости выработки специальных решений. В «представленной таблице рассматривается двенадцать негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено. При выработке решений по защите персонала от негативного воздействия производственных факторов необходимо учитывать их кумулятивное действие» [4], выраженное в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

Таблица 5 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Инд. средства
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону» [4]	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия

По результатам анализ представленной таблицы можно судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Разработки специальных средств не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Проведение сварочных и наплавочных работ характеризуется повышенной опасностью возникновения пожаров на производственном участке. В первую очередь, это объясняется действием дуги, становящейся источником интенсивного теплового и светового излучения, разлетающихся брызг металла и нагрева поверхности деталей до опасных с точки зрения возгорания температур. Также следует принимать во внимание подвод к сварочному и «наплавочному оборудованию электрической мощности, нарушение в работе электрических приборов и проводке цеха может стать причиной возникновения пожара. Кроме того, наличие подвода электричества существенно затрудняет тушение пожара и ухудшает его протекание. В таблице 6 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить» [4].

Таблица 6 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок сборки и сварки опор линии электропередач и связи
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [4]	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

При возникновении на рассматриваемом участке пожара, неминуемо возникают его опасные факторы. К таким фактора относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно

падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. На основании результатов проведенного анализа возникающий на «рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории Е, так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 7 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке» [4].

Таблица 7 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [4]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Составление перечня противопожарных мероприятий в первую очередь должно руководствоваться принципом системности и целостности, обеспечивая возможность устранения пожара как на этапе его возникновения, так и после возникновения. При организации противопожарных мероприятий необходимо принимать во внимание приоритетность предупредительных мероприятий. Поэтому особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания на рассматриваемом производственном участке. Для этого запрещается складирование на нем мусора: ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

«При составлении проектного технологического процесса следует рассматривать не только требования промышленной безопасности и пожарной безопасности, но и выполнять условия минимизации вреда, причиняемого окружающей среде» [4] со стороны рассматриваемого производства. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс сварки продольного шва на опорах линии электропередач и линий связи, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 8 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства.

Таблица 8 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства

Участок	Участок проведения сварочных работ при изготовлении опор линии электропередачи и линий связи
Защита атмосферы	Вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу.

Выводы по экологическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы рассматривались вопросы безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности производственного участка, которые возникают при реализации предлагаемого проектного процесса сварки продольного шва при изготовлении опор линии электропередачи и линий связи. Составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Необходимый уровень производственной безопасности обеспечивается, и специальные разработки не нужны. На основании рассмотрения вопросов пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка составлен перечень средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Установлено, что основной упор следует сделать на предотвращение возникновения ситуаций, в которых возможно возникновение пожара. Также производственный участок рассмотрен с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий. Таким образом, предлагаемые решения не противоречат требованиям промышленной, пожарной и экологической безопасности и могут быть внедрены в современное производство.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен комплекс решений, применение которых в производстве позволяет повысить эффективность выполнения протяженных швов на опорах линий электропередач и линий связи. Автоматическая сварка под флюсом заменена на сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Применение достижений современной сварочной науки в области управления дугой обеспечило расширение технологических возможностей рассматриваемого способа сварки. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению.

Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 9. Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии сварки при сварке опор линий электропередач и линий связи. Дальнейшие экономические расчёты будут основаны на представленных в таблице исходных данных. С учётом особенностей рассматриваемого технологического процесса технология будет реализована при работе в одну смену.

Таблица 9 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	1000 тыс.	2000 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	35
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	20	20
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [10]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

«Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений» [10].

4.2 Фонд времени работы оборудования

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

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

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

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

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

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

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [10] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 1,65 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,83 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1$ час.

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

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

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_r = 2054/2 = 1027$ стыков за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_r = 2054/1 = 2054$ стыков за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_r = 800$ стыков ремонтируемого трубопровода за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{расч}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_r и штучного времени $t_{шт}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{вн}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{вн} = 1,03$ » [10]:

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

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч} = 2 \cdot 800 / (2054 \cdot 1,03) = 0,76$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч} = 1 \cdot 800 / (2054 \cdot 1,03) = 0,38$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,76/1 = 0,76$ и $K_3 = 0,38/1 = 0,38$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

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

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M=400 \cdot 3 \cdot 1,05 + 120 \cdot 4 \cdot 1,05 = 1764$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $M_{\text{баз.}} = 400 \cdot 3 \cdot 1,05 + 60 \cdot 12 \cdot 0,3 \cdot 1,05 = 1486$ руб.

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}} = 200$ руб., $K_{\text{д}} = 1,88$ и $K_{\text{доп}} = 0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$ » [10]:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 752$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн.}} = 1 \cdot 200 \cdot 1,88 = 376$ руб.

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

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 752 \cdot 0,812 = 90$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 376 \cdot 0,12 = 45$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 752 + 90 = 842$ руб.. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 376 + 45 = 421$ руб.

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

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

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

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 842 \cdot 0,34 = 286$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 421 \cdot 0,34 = 143$ руб. «Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ и затраты на электрическую энергию $P_{\text{э}}$ » [10]. При расчете величины $A_{\text{об}}$ применяются ранее определенные значения $F_{\text{э}}$ и $t_{\text{маш}}$, а также принятые для рассматриваемого

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

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

Применение (12) «для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 1000000 \cdot 21,5 \cdot 2 / 2054 / 100 = 209$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 2000000 \cdot 21,5 \cdot 1 / 2054 / 100 = 209$ руб.

Для расчёта величины $P_{ээ}$ выполняется применяется цена электрической энергии $\Pi_{ээ}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{ээ}$ [10]:

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 2 \cdot 25 \cdot 3,2 / 0,85 = 188$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 1 \cdot 35 \cdot 3,2 / 0,85 = 263$ руб.

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

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

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об} = 209 + 188 = 397$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 209 + 263 = 472$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение «технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\PhiЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{сс}$, затрат на оборудование $Z_{об}$ » [10]:

$$C_{тех} = M + \PhiЗП + O_{сс} + Z_{об}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{тех}} = 1764 + 842 + 286 + 397 = 3289$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{тех}} = 1486 + 421 + 143 + 472 = 2522$ руб..

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

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

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{цех}} = 3289 + 1,5 \cdot 752 = 3289 + 1128 = 4417$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{цех}} = 2522 + 1,5 \cdot 376 = 2522 + 564 = 3086$ руб.

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

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

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{\text{зав}} = 4417 + 1,15 \cdot 752 = 4417 + 865 = 5282$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{\text{зав}} = 3086 + 1,15 \cdot 376 = 3086 + 432 = 3518$ руб.

Для анализа которых на рисунке 30 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному

вариантам технологического процесса» [10]. Калькуляция представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
«Затраты на материалы	М	1764	1486
Фонд заработной платы	ФЗП	842	421
Отчисления на соц. нужды	Осн	286	143
Затраты на оборудование	Зоб	397	472
Технологическая себестоимость	Стех	3289	2522
Цеховые расходы	Рцех	1128	564
Цеховая себестоимость	Сцех	4417	3086
Заводские расходы	Рзав	865	432
Заводская себестоимость» [9]	Сзав	5282	3518

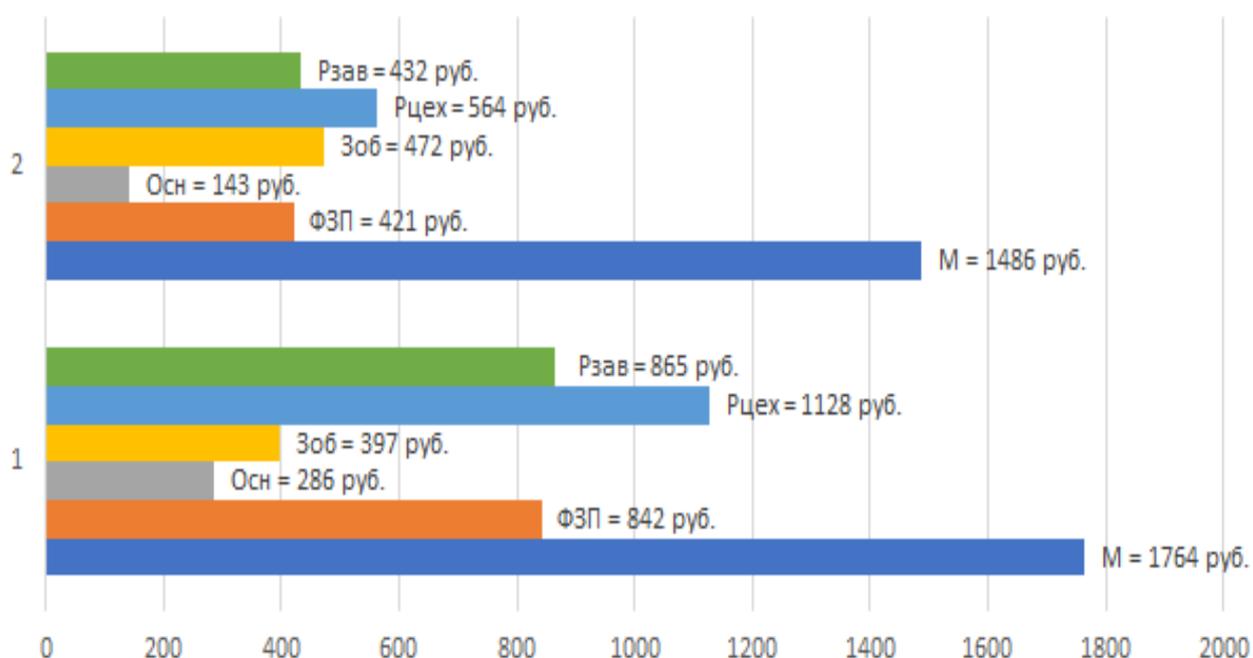


Рисунок 30 – Состав заводской себестоимости

«Снижение заводской себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов. Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом» [10]. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=3$ года и цене оборудования $\Pi_{перв.}= 1000$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$ » [10]:

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 1000000 - (1000000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 355000$ руб.

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_3 и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{3.б.} = 1 \cdot 355000 \cdot 0,76 = 269800 \text{ рублей}. \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_3 , расчётное значение которого составляет $K_3=0,38$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=2000$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{3п} = 2000000 \cdot 1,05 \cdot 0,38 = 798000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}= 1000$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 1000000 \cdot 0,05 = 50000 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $C_{\text{об.пр.}}=2000$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 2000000 \cdot 0,05 = 100000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 50000 + 100000 = 150000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 798000 + 150000 = 948000 \text{ руб.} \quad (24)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 948000 - 269800 = 679000 \text{ рублей.} \quad (25)$$

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

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

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат [10] составляет $K_{\text{уд}} = 269800/800 = 337$ рублей за один стык опоры линии электропередач. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 948000 / 800 = 1185$ рублей за один стык опоры линии электропередач.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (2-1) \cdot 100 \% / 2 = 50 \% . \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 50 / (100 - 50) = 100 \% . \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости» [10]:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (3298 - 2522) \cdot 100\% / 3289 = 23 \% \quad (29)$$

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

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T = (5282 - 3518) \cdot 800 = 1411200 \text{ рублей} . \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 679000 / 1411200 = 0,5 \text{ года} . \quad (31)$$

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

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 1411200 - 0,33 \cdot 679000 = 1187130 \text{ рублей} . \quad (32)$$

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

Выводы по экономическому разделу

В работе предложены технологические решения, направленные на «повышение эффективности сварки протяженных швов при изготовлении опор линий электропередач и линий связи. Проведено обоснование применения сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения для реализации проектной технологии. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа сварки. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому трубопроводу» [10]. На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели производства. Далее с использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Таким образом, за счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 50 %, повысить производительность процесса на 100 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 23 %. При капитальных вложениях 679 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,5 года, а экономический эффект составляет 1,187 млн. рублей.

Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений. Следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривался вопрос повышения показателей предприятия, выполняющего сварку опор многогранных, применение которых в линиях связи и электропередачи получило значительное распространение. Во введении представлен краткий анализ состояния вопроса и обоснована актуальность выбранного направления исследования, выполнена формулировка цели выпускной квалификационной работы и способов её достижения.

В аналитическом разделе рассмотрена конструкция опоры и требования к сварному соединению, особенности сварки рассматриваемой стали и операций базовой технологии. На основании проведенного литературного обзора выполнен анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности сварки протяженных швов металлических конструкций дуговыми способами, выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу.

При решении первой задачи обоснован выбор способа сварки для реализации проектной технологии. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков рассматриваемых способов предложено применить механизированную и автоматическую сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

При решении второй задачи повышение эффективности выбранного способа сварки достигнуто за счёт применения разработанных российскими исследователями-сварщиками решений. С применением предлагаемого алгоритма и электронной схемы обеспечено протекание дуговой сварки в импульсном режиме. Реализация предлагаемого алгоритма импульсного управления позволяет формировать сварочную дугу, которая характеризуется высокой пространственной устойчивостью и позволяющую получать стабильное качество при выполнении длиномерных швов в узкую разделку. Импульсный характер горения дуги обеспечивает полноту выделения

растворенных в сварочной ванне газов, что позволяет успешно бороться с образованием пор. Для обеспечения качества выполнения протяженного шва предложено устройство, обеспечивающее требуемую точность сборки и защиту корня шва.

При решении третьей задачи составлена проектная технология сварки, которая может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования. выполнено построение проектной технологии ремонтной сварки, для реализации которой составлен перечень операций, сформулированы требования к их выполнению и назначены параметры режима.

При выполнении третьего раздела настоящей выпускной квалификационной работы проведена идентификация негативных производственных факторов, образование которых и действие на персонал наблюдаются при реализации проектного технологического процесса. Кроме того, рассмотрены меры по обеспечению пожарной безопасности и экологической безопасности рассматриваемого сварочного участка.

При выполнении четвертого раздела настоящей выпускной квалификационной работы был выполнен расчёт экономических показателей, характеризующих реализацию базового технологического процесса и реализацию проектного технологического процесса. На основании сравнения этих показателей можно судить о высокой эффективности предлагаемых решений.

Ожидаемое повышение производительности труда за счёт применения более прогрессивных технологий сварки составляет 100 % при снижении технологической себестоимости на 23 %. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых решений на рассматриваемом производстве составляет 1,2 млн. рублей, что позволяет судить о высокой эффективности предлагаемых решений и достижении поставленной цели работы.

Список используемой литературы и используемых источников

1. А. с. № 1540995 СССР, МКИ В23К37/04. Стенд для сборки и сварки продольных швов / Шумихин В. В., Обухов В. С., Пушкин В. М., Бабин Ю. М. заявл. 18.01.88; опубл. 07.02.90, Бюл. № 5
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
4. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
5. Доронин Ю. В. Разработка теоретических основ формирования обратной стороны шва с учетом физико-химических процессов в сварочной ванне и создание новых сварочных материалов для односторонней дуговой сварки сталей плавящимся электродом: диссертация на соискание уч. степени доктора технических наук. МТГУ им. Н.Э. Бумана. Москва. 2010.
6. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48–52.
7. Жерносеков А. М., Хаскин В. Ю., Набок Т. Н. Импульсная лазерно-дуговая сварка углеродистых сталей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2014. № 5/1. С. 12–16.
8. Карницкий В. Ю., Сухова Ю. В. Применение современных опор в электроэнергетике // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. № 12. С. 60-63.
9. Кравцов А. Н., Узелков Б. М., Гологорский Е. Г. Справочник по строительству и реконструкции линий электропередачи напряжением 0,4...750 кВ. М. : НЦ ЭНАС, 2007. 548 с.

10. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : изд-во ТГУ, 2008. 38 с.
11. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : изд-во ТГУ, 2005. 35 с.
12. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.
13. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Крампит М. А. Сварка с импульсным питанием в углекислом газе при работе системы с обратными связями // Вестник науки Сибири. 2011. № 1. С. 715–721.
14. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.
15. Линт Н. Г., Казаков С. Е., Семенов О. В. Экономика строительства линий электропередач на стальных многогранных опорах // Электро. 2007. № 6. С. 47-53.
16. Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В., Петрук В.С. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.
17. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
18. Малолетков А. В., Шварц М. В. Исследование чувствительности технологии MIG/MAG сварки корневого слоя шва к геометрическим возмущениям сборки стыка // Наука и образование. 2013. № 10. С. 9-22.
19. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
20. Патент № 2175596 РФ, МКИ В23К9/10. Устройство для сварки / Князьков А. Ф., Крампит А. Г., Крампит Н. Ю. заявл. 23.03.2000; опубл. 10.11.2001

21. 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.

22. Романюк В. С., Ковалев В. Д., Резник С. А. Высокопроизводительная сварка неповоротных стыков труб порошковой проволокой с принудительным формированием шва // Сварщик. 2001. № 2. С. 32–33.

23. Сабитов Л. С., Кузнецов И. Л., Пеньковцев С. А. Выбор рационального типа поперечного сечения опор // Приволжский научный журнал. 2014. № 4. С. 90-94.

24. Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Полетика И. М. Улучшение структуры и свойств сварных соединений труб большого диаметра из низколегированной стали при импульсно-дуговой сварке // Автоматическая сварка. 2004. № 12. С. 34–38.

25. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : изд-во ТГУ, 2007. 301 с.

26. СТО 56947007-29.240.55.054-2010 Руководство по проектированию многогранных опор и фундаментов к ним для ВЛ напряжением 110-500 кВ. ОАО «ФСК ЕЭС». Москва. 2010.

27. Хусаинов Д. М., Тамендаров Б. Э., Сабитов Л. С. Повышение надежности и безопасности при строительстве опор многогранного сечения // Технические науки – от теории к практике. 2015. № 7-8. С. 140-145.

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