

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология сборки и сварки строительной фермы

Обучающийся

С.И. Богатырев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

При выполнении сварочных работ в процессе изготовления строительных ферм продолжает широко применяться ручная дуговая сварка, недостатки которой вызывают необходимость совершенствования сварочных технологий. На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных в настоящей выпускной квалификационной работе альтернативных способов сварки для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитном газе проволокой сплошного сечения. Повышение эффективности выбранного способа сварки достигнуто за счёт применения импульсного управления горением сварочной дуги и использованием смеси защитных газов.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

С учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства.

Производительность труда повышается на 61 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 25 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,8 млн. рублей.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют работы по изготовлению несущих строительных конструкций.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние сварки строительных ферм.	7
1.1 Проблемы сварки строительных ферм и особенности их эксплуатации.	7
1.2 Сведения о материале для изготовления строительной фермы.	9
1.3 Базовая технология сварки строительной фермы.	11
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	16
2 Проектный технологический процесс сборки и сварки строительной фермы.	17
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	17
2.2 Описание операций технологического процесса сборки и сварки строительной фермы.	19
3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений.	25
3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта.	25
3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков.	27
3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков.	28
3.4 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта.	30
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности.	32
4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.	34
4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям.	34
4.2 Оценка фонда времени работы оборудования.	36

4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии.	37
4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам.	39
4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии.	43
4.6 Показатели экономической эффективности.	46
Заключение	48
Список используемой литературы и используемых источников.	50

Введение

При возведении промышленных и жилых зданий широко применяются стропильные фермы. При этом рост количества строек приводит к увеличению числа производств, которые занимаются изготовлением металлических конструкций. Начавшийся в России мировой экономической кризис неминуемо вызовет обострение конкуренции между предприятиями, выпускающими один и тот же тип продукции. В связи с этим необходимо быть готовым к повышению конкурентоспособности конкретного предприятия, снижения стоимости изготовления строительных ферм и повышения их качества.

При изготовлении элементов строительной фермы промышленного здания в заводских условиях целесообразно применение механизированных и автоматических способов сварки. При этом следует учесть, что особенности конструкции фермы заключаются в большом количестве коротких сварных швов, которые располагаются в различных пространственных положениях. Поэтому применение классических средств автоматизации для изготовления сварных ферм затруднено.

Работа строительных ферм происходит в условиях переменного нагружения, которое возникает вследствие изменения температуры воздуха, ветровой и снеговой нагрузки. На основании опыта использования ферменных конструкций [22] можно заключить, что значительная часть конструкций выходит из строя в результате образования в них усталостных трещин, зарождение которых начинается через 1...7 лет после запуска в эксплуатацию.

При изготовлении ферменных конструкций в них образуются остаточные напряжения и деформации, которые могут достигать значительной величины и составлять до 90 % предела прочности [25], [26]. Причиной такого высокого уровня остаточных напряжений является

неравномерный нагрев металла при сварке и высокая жёсткость конструкции, в результате чего в неё образуются остаточные растягивающие напряжения.

На основании вышеизложенного следует сделать вывод о том, что повышение качества изготовления сварных ферменных конструкций лежит в плоскости модернизации технологического процесса изготовления, в частности, повышения эффективности сварочных процессов. При этом широко применяется ручная дуговая сварка, хорошо зарекомендовавшая себя при изготовлении ферменных конструкций, исчерпала резервы для дальнейшего повышения эффективности. При применении ручной дуговой сварки даже при использовании новых источников питания, сварочных материалов и назначения оптимальных параметров режима сварки необходимого кратного повышения качества и производительности достичь не удастся. Поэтому следует применять более перспективные способы сварки, переход к которым давно отслеживается на мировом рынке сварочной техники и сварочных материалов [8].

Несмотря на экономический и научный прорыв, который был анонсирован Президентом в 2020 году, в России наблюдается отрицательное снижение зависимости промышленности от иностранных сварочных технологий и оборудования. При этом доля импорта в тяжёлом машиностроении составляет 60...80 %, электронной промышленности 80...90 %, в станкостроении же доля иностранных комплектующих превышает 90 % [14].

На основании вышеизложенного следует признать актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы и поставленной в ней цели – повышение производительности и качества изготовления ферменных конструкций за счёт повышения эффективности сварочных технологий.

При этом предпочтение следует отдавать отечественным разработкам, внедрение которых в современное производство не потребует применения импортного оборудования и элементной базы.

1 Современное состояние сварки строительных ферм

1.1 Проблемы сварки строительных ферм и особенности их эксплуатации

На рисунке 1 представлена строительная ферма, которая имеет длину 15 метров. На место выполнения строительства ферму оставляют в сваренном виде.

Автором работы [2] является Блинов Ю. Н. – сотрудник ООО НПО «Дискрет», г. Кировоград (с 2016 года в рамках декоммунизации переименован в г. Кропивницкий). В работе описаны особенности выполнения и результаты обследования строительной ферменной конструкции, для чего были применены методы промышленного альпинизма и неразрушающего контроля. Установлено, что значительная часть конструкций имеет различные повреждения, представлены фото (рисунок 2).

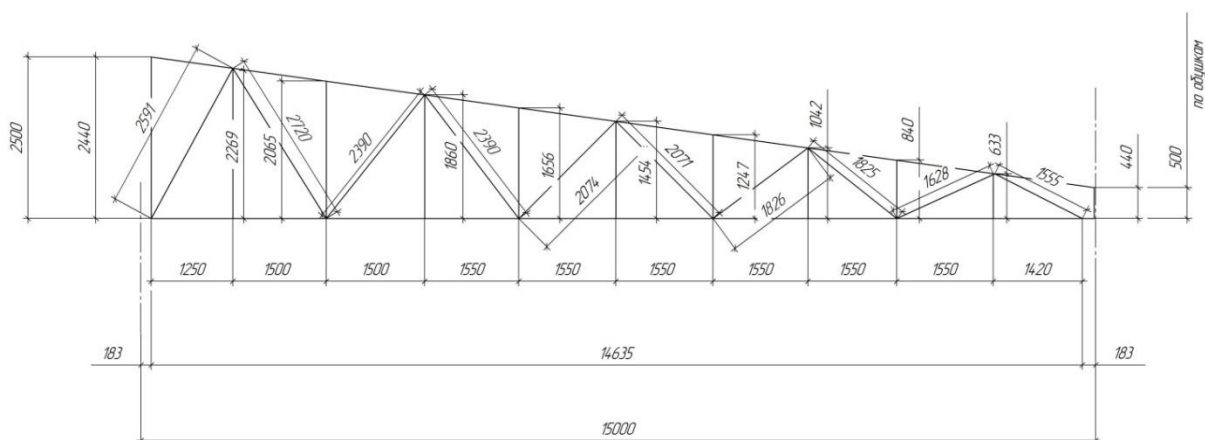


Рисунок 1 – Строительная ферма в сборе

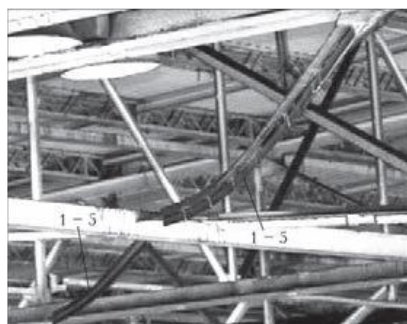


Рисунок 2 – Погнутость элементов горизонтальной связи (а) и смещение элементов в узловой фасонке (б)

Автором работы [6] является Казакова Е. В. – сотрудник Донецкого института железнодорожного транспорта. В работе выполнен анализ напряженно-деформированного состояния бесфасоночных узлов, которые широко применяются при строительстве ферм из трубчатого профиля. Пример разрушения такого узла представлен на рисунке 3.

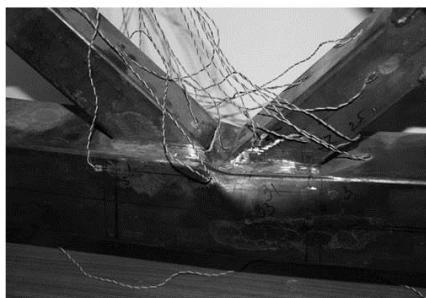


Рисунок 3 – Разрушение сварного узла фермы

Автором работы [24] является Юрченко В. В. – сотрудник Донецкого института железнодорожного транспорта. В работе показано, что при организации узлов ферм самое широкое применение получили сварка и высокопрочные болты. При этом заводское изготовление фермы более рационально выполнять с применением сварки, а монтаж фермы – с использованием фрикционных высокопрочных болтов. Также возможно применение комбинированного способа, при котором используется одновременно сварка и болтовая сборка.

Авторами работы [19] являются Салахутдинов М. А., Кузнецов И. Л., Саянов С. Ф. – сотрудники Казанского государственного архитектурно-строительного университета. В работе показано, что применение строительных ферм из оцинкованных труб многогранного сечения позволяет на 15 % снизить металлоемкость строительной фермы без потери эксплуатационных свойств.

На основании опыта использования ферменных конструкций [22] можно заключить, что значительная часть конструкций выходит из строя в результате образования в них усталостных трещин, зарождение которых начинается через 1...7 лет после запуска в эксплуатацию.

1.2 Сведения о материале для изготовления строительной фермы

Работа строительных ферм происходит в условиях переменного нагружения, которое возникает вследствие изменения температуры воздуха, ветровой и снеговой нагрузки. Для изготовления рассматриваемой в настоящей выпускной квалификационной работе фермы применяется сталь 10ХСНД и сталь 15ХСНД.

Содержание химических элементов в сталях приведено в таблице 1. Применение этих сталей позволяет существенно снизить металлоёмкость строительных конструкций и повысить их эксплуатационные свойства при использовании в условиях Севера [13].

Таблица 1 – «Содержание химических элементов в стали 10ХСНД и 15ХСНД

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	Cu	Cr	Ni
10ХНДП	<0,12	0,30-0,60	0,17-0,37	0,07-0,12	<0,04	0,30-0,50	0,50-0,80	0,30-0,60
15ХСНД	0,12-0,18	0,40-0,70	0,40-0,70	<0,035	<0,035	0,20-0,60	0,60-0,90	0,30-0,60

В таблице 2 приведены механические свойства стали 10ХСНД и стали 15ХСНД.

Таблица 2 – Механические свойства сталей 10ХСНД и 15ХСНД

Марка стали	Класс прочности	Толщина металла	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %
15ХСНД	390	30	400	555	30
10ХСНД	390	30	390	510	39» [21]

По сравнению с другими строительными сталями (16Г2АФ и 06Г2Б) стали 10ХСНД и 15ХСНД имеют меньший предел текучести, но обладают существенно большей вязкостью и пластичностью, что позволяет сочетать невосприимчивость к концентраторам напряжений, высокую прочность и коррозионную стойкость.

Сварка сталей 10ХСНД и 15ХСНД приводит к образованию закалочных структур в металле сварного шва и околошовной зоне. Для того, чтобы уменьшить количество этих структур требуется назначать такие параметры режима сварки и придерживаться такой техники сварки, чтобы получать минимальный перегрев и закалку. Сварку таких сталей ведут электродами Э50А или Э55 [21]. Наиболее частыми дефектами при сварке сталей являются горячие трещины, поры и непровары.

Причиной образования горячих трещин является пониженная деформационная способность металла в нагретом состоянии. Переход расплавленного металла из жидкого состояния в твёрдое сопровождается уменьшением его объёма и образованием растягивающих напряжений. Сниженная деформационная способность нагретого металла приводит к растрескиванию в результате действия этих напряжений. Следует учитывать, что термическая обработка сварного шва не снижает вероятности получения горячих трещин, а наоборот, может привести к её повышению. Также вероятность образования горячих трещин существенно зависит от особенностей конструкции, так как различные её элементы могут играть роль концентраторов напряжений и способствовать образованию горячих трещин. Также следует соблюдать назначенные параметры режима сварки и технику сварки. При высокой скорости сварки вероятность образования горячих трещин повышается.

Для того, чтобы устранить горячие трещины, сварку выполняют короткой дугой без поперечных колебаний. В случае обрыва дуги необходимо тщательно заправлять образующийся кратер. При этом запрещается выводить кратер на основной металл – зажигание и гашение дуги должно происходить на кромках или на металле сварного шва.

Образование непроваров происходит по причине недостаточной погонной энергии при сварке, что вызывается малой величиной сварочного тока и завышенной скоростью сварки. Неправильная разделка кромок также может стать причиной образования непроваров. При выполнении

многопроходных швов для предотвращения образования нерповаров требуется проводить тщательную зачистку валиков.

Устранение порообразования обеспечивается при пооперационном контроле качества, в ходе которого необходимо своевременно обнаруживать дефектные участки и исправлять их. Повышенная скорость сварки может вызвать порообразование. Также при сварке электродами большого диаметра вероятность получения пор увеличивается. Необходимо тщательно придерживаться технологии прокалики сварочных электродов.

1.3 Базовая технология сварки строительной фермы

Строительную ферму изготавливают с применением ручной дуговой сварки штучными электродами УОНИ 13/55, МТГ-01К, МТГ-02 или МТГ-03. Содержание химических элементов наплавленном металле при использовании этих электродов приведено в таблице 3.

Таблица 3 – «Содержание химических элементов в наплавленном металле при использовании электродов различных марок»

Марка электрода	C	Mn	Si	Ni	Mo	S+P
УОНИ 13/55	<0,09	1,05	0,42	-	-	< 0,040
МТГ-01К	< 0,06	1,35	0,33	-	-	< 0,035
МТГ-02	< 0,06	1,35	0,33	-	0,25	< 0,035
МТГ-03	< 0,06	1,10	0,45	0,70	0,40	< 0,035» [19]

Температура прокалики и длительность прокалики сварочных электродов указаны в таблице 4. После того, как прокалика электродов была выполнена, их следует поместить в резервную печь, температура которой составляет 80...100 °С. Из резервной печи электроды вынимаются непосредственно перед использованием. В течение смены следует использовать все прокалённые и помещённые в резервную печь электроды. В противном случае для оставшихся электродов в новую смену процедуру прокалики

повторяют. Допускается не более трёх прокалок электродов, если в течение этого срока электроды не были использованы, их необходимо утилизировать.

Прокалку электродов выполняют в печи ЭПСЭ-40/400, которая представлена на рисунке 4-а. Для хранения прокаленных электродов применяют резервную печь ЭПСЭ-10/400, которая представлена на рисунке 4-б.

Таблица 4 – Параметры прокалки электродов перед сваркой

Марка электрода	Температура прокалки	Время прокалки
УОНИ 13/55	380...420 °С	90...120 мин
МТГ-01К	360...400 °С	60...80 мин
МТГ-02	360...400 °С	60...80 мин
МТГ-03	360...400 °С	60...80 мин

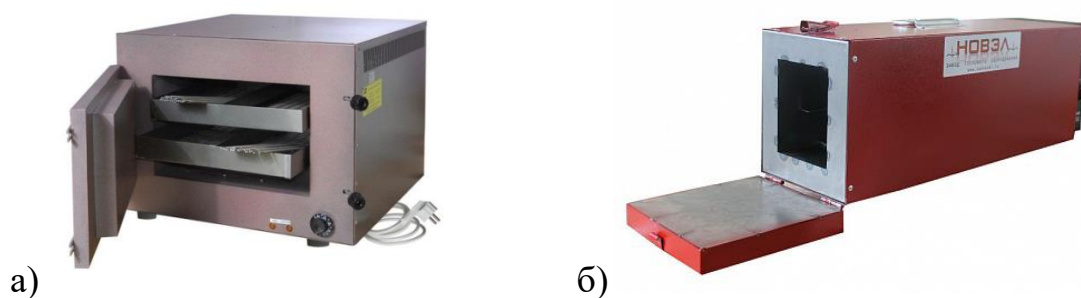


Рисунок 4 – Печи для прокалки и резервного хранения электродов: ЭПСЭ-40/400 (а) и ЭПСЭ-10/400 (б)

Сварку выполняют в отапливаемых цехах, в которых постоянно поддерживается положительная температура и отсутствуют сквозняки. В случае невозможности поддержания положительной температуры в цехе, в порядке исключения разрешается выполнять сварочные работы при температуре не ниже -10 °С с проведением предварительного подогрева свариваемых кромок на ширину не менее 60 мм от края. Температура предварительного подогрева составляет 120...150 °С.

Базовая технология предусматривает применение электродов УОНИ 13/55 диаметром 4 мм и 5 мм. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Для выполнения прихваток применяются электроды

диаметром 4 мм. Для выполнения заполняющего слоя применяются электроды диаметром 5 мм. Для выполнения облицовочного слоя применяются электроды диаметром 4 мм. Значения параметров режима сварки в зависимости от диаметра электрода и пространственного положения сварного шва приведены в таблице 5. В качестве источника питания дуги применяют сварочный выпрямитель DC-400, который представлен на рисунке 5.

Таблица 5 – Параметры режима сварки электродами УОНИ 13/55 Ø 4 и 5 мм

Диаметр электрода	Положение сварного шва		
	нижнее	вертикальное	потолочное
4 мм	130...160 А	120...150 А	120...150 А
5 мм	180...200 А	160...180 А	-



Рисунок 5 – Оборудование для ручной дуговой сварки: источник питания DC-400

При изготовлении строительной фермы проводят следующие виды контроля: входной, пооперационный и приёмочный.

При приемке материалов проверяют наличие и соответствие маркировки условиям заказа, качество поверхности проката. Хранение заготовок и материалов следует выполнять под навесами или в закрытых помещениях, при этом должна быть обеспечена защита от механических повреждений, загрязнения и контакта с цветными металлами, который может вызвать коррозию материала.

Для каждой поступающей партии электродов проверяется наличие сопроводительного документа, в которых должна содержаться следующая информация:

- тип, марка и диаметр сварочных электродов;
- масса электродов без учёта массы тары;
- название предприятия, на котором выполнялось изготовление сварочных электродов;
- наименование и номер стандарта или технических условий на сварочные электроды;
- результаты проведённых испытаний на выполнение требований к электродам;
- номер партии и дата изготовления.

Условия хранения и подготовки сварочных материалов должны соответствовать требованиями РТМ 26-304-78.

Если условия хранения вызывают сомнение в состоянии сварочных электродов, независимо от срока их хранения следует провести испытания электродов на соответствие техническим требованиям.

При пооперационном контроле проводя проверку точности сборки, качество подготовки кромок и зачистки основного металла, точность расположения элементов.

При приёмочном контроле проводят визуально-измерительный и ультразвуковой контроль качества.

Визуальный контроль проводят по отношению 100 % сварных соединений. Для проведения визуального контроля применяется набор, который представлен на рисунке 6 и включает в себя: металлические линейки, штангенциркуль с глубиномером, универсальный шаблон сварщика, набор луп, фонарик, инструкцию РД 03-606-03, металлический угольник, щупы и радиусные шаблоны, маркер по металлу.



Рисунок 6 – Оборудование для проведения визуально-измерительного контроля сварных швов

Недопустимыми дефектами, выявленными при визуальном контроле сварных соединений, являются: трещины всех видов и направлений; непровары (несплавления) между основным металлом и швом, а также между валиками шва; наплывы (натеки) и брызги металла; незаваренные кратеры; свищи; прожоги; скопления включений. Сварной шов должен иметь плавный переход к основному металлу.

Выявленные при визуальном и измерительном контроле дефекты, которые могут быть исправлены (удалены) без последующей заварки выборок, должны быть исправлены до проведения контроля другими методами.

При обнаружении участков, на которых подозревается наличие внутренних дефектов, проводят ультразвуковой контроль качества. Для ультразвукового контроля применяется дефектоскоп USD-500, который представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Ультразвуковой дефектоскоп USD-500 с набором стандартных образцов

При ультразвуковом контроле не допускаются такие дефекты, как несплавления между слоями шва, непровары, внутренние поры более 1 мм, шлаковые включения и цепочки пор.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных операций при изготовлении строительной фермы.

Для достижения поставленной цели в выпускной квалификационной работе предстоит решить ряд задач.

Первой задачей является обоснование выбора способа сварки, при этом следует рассмотреть альтернативные способы сварки, дать им экспертную оценку по критериям технологичности, экономичности и долговечности сварных соединений.

Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа сварки применительно к рассматриваемой конструкции на основании разработок, проведённых отечественными и зарубежными исследователями – сварщиками.

Третьей задачей является составление проектной технологии сварки. необходимо дать перечень технологических операций, сформулировать требования к выполнению каждой операции, назначить параметры режима обработки, выбрать необходимое технологическое оборудование.

Четвёртой задачей является оценка экологичности предложенных в работе решений и на предмет обеспечения безопасности труда [1], [4].

Пятой задачей является оценка возможного экономического эффекта при внедрении предлагаемых решений в производство [9], [10].

2 Проектный технологический процесс сборки и сварки строительной фермы

2.1 Обоснование выбора способа сварки

Применительно к рассматриваемой строительной конструкции могут быть использованы следующие способы сварки:

- «автоматическая и механизированная сварка под флюсом (ГОСТ 8713 или ГОСТ 11533);
- автоматическая и механизированная сварка в смеси защитных газов (ГОСТ 14771 и ГОСТ 23518);
- ручная электродуговая сварка (ГОСТ 5264 и ГОСТ 11534);
- автоматическая и механизированная сварка самозащитной порошковой проволокой.

Самым распространённым на сегодняшний момент способом сварки, который применяется при возведении металлических конструкций, является ручная дуговая сварка» [20]. Основным преимуществом ручной дуговой сварки является максимальная простота и дешевизна оборудования для ручной дуговой сварки по сравнению с оборудованием для других способов сварки. Также следует принимать во внимание, что на предприятии, проводящем сварочные работы, уже имеется оборудование для ручной дуговой сварки, поэтому построение проектной технологии с использованием этого способа сварки не потребует приобретения нового оборудования. При построении технологического процесса с применением ручной дуговой сварки не требуется освоения специальных навыков и получения специальных знаний, персонал уже подготовлен. Кроме того, ручная дуговая сварка является самым мобильным способом сварки, который позволяет вести сварочные работы в любом пространственном положении шва.

В настоящее время в мировой промышленности существует устойчивый тренд на вытеснение ручной дуговой сварки механизированными и автоматическими способами сварки [3], [11], [12]. Это объясняется недостатками ручной дуговой сварки, которые могут играть решающую роль при обосновании выбора способа сварки.

Альтернативой ручной дуговой сварке является механизированная сварка проволокой сплошного сечения в защитных газах [16]. [17]. В числе преимуществ этого способа сварки следует отметить повышение производительности по сравнению с ручной дуговой сваркой. При сварке практически не образуется шлаковая корка, поэтому многослойная сварка также ускоряется и повышается её качество. При механизированной сварке в защитных газах наблюдается повышенная вязкость расплавленного металла, что позволяет выполнять сварку при различных пространственных положениях. Проволока сплошного сечения имеет повышенную стойкость против заломов, что выгодно отличает этот способ сварки от сварки порошковой проволокой. При сварке в защитных газах улучшаются условия труда сварщика.

Повышение производительности и качества сварки может быть получено при применении сварки под флюсом. Кроме того, наблюдается существенное улучшение условий работы сварщика [5]. Преимуществом этого способа сварки является значительное улучшение условий труда сварщиков по сравнению с другими способами сварки. Горение дуги происходит под слоем флюса, и на сварщика не оказывается вредного воздействия. Также при автоматической сварке под флюсом устраняется проблема разбрызгивания электродного металла. С качестве ещё одного преимущества следует указать существенное снижение требований к квалификации сварщика.

Для расширения технологических возможностей механизированной сварки применяется сварка порошковой проволокой, преимуществом которой является [18], [23] повышение мобильности способа благодаря

отсутствию газовой аппаратуры. Также качество выполнения сварочных работ на открытом воздухе существенно повышается по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения в защитных газах. Производительность сварки также повышается по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения в защитных газах.

Анализ преимуществ рассмотренных способов, а также перспективы их развития позволяют предложить для построения проектного технологического процесса механизированную сварку проволокой сплошного сечения в защитных газах.

2.2 Описание операций технологического процесса сборки и сварки строительной фермы

Технология изготовления сварной конструкции фермы предусматривает выполнение следующих операций: очистка; правка; разметка; резка; сборка; предварительный подогрев; сварка; правка; контроль качества.

Для сварки применяется проволока Св-08ГСМТ сплошного сечения диаметром 1,2 мм, которая представлена на рисунке 8-а. Содержание химических элементов в проволоке приведено в таблице 6.



Рисунок 8 – Сварочные материалы: намотанные кассеты с омеднённой сварочной проволокой Св-08ГСМТ (а) и баллоны с защитным газом (б)

Таблица 6 – Содержание химических элементов в проволоке Св-08ГСМТ

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Ti
0,06-0,11	0,40-0,70	1,0-1,3	<0,30	<0,30	0,2-0,4	0,05-0,12

В работе [15] показано, что расширение технологических возможностей сварки в защитных газах проволоками сплошного сечения происходит при импульсной подаче сварочной проволоки. Применение для защиты зоны сварки смеси защитных газов позволяет уменьшить разбрызгивание и улучшить условия формирования шва.

На рисунке 9 представлено содержание химических элементов в металле сварного шва при выполнении сварки согласно одному из способов:

- «механизированная сварка в среде чистого углекислого газа с постоянной подачей сварочной проволоки;
- механизированная сварка в смеси защитных газов (Ar 70% + CO₂ 30%) с постоянной подачей сварочной проволоки;
- механизированная сварка в среде чистого углекислого газа с импульсной подачей сварочной проволоки;
- механизированная сварка в смеси защитных газов (Ar 70% + CO₂ 30%) с импульсной подачей сварочной проволоки» [26].

Установлено, что выгорание легирующих элементов импульсной подаче проволоки существенно меньше, чем при сварке на стационарном режиме. Кроме того, применение в качестве защиты смеси газов по сравнению со сваркой в чистом углекислом газе ещё больше усиливает защиту сварочной ванны. Таким образом, для сварки по проектной технологии применим смесь газов Ar 70% + CO₂ 30%. Баллоны со смесью представлены на рисунке 8-б.

Сварку выполняют в отапливаемых цехах, в которых постоянно поддерживается положительная температура и отсутствуют сквозняки. В случае невозможности поддержания положительной температуры в цехе, в порядке исключения разрешается выполнять сварочные работы при

температуре не ниже -10°C с проведением предварительного подогрева свариваемых кромок на ширину не менее 60 мм от края. Температура предварительного подогрева составляет $120\dots150^{\circ}\text{C}$.

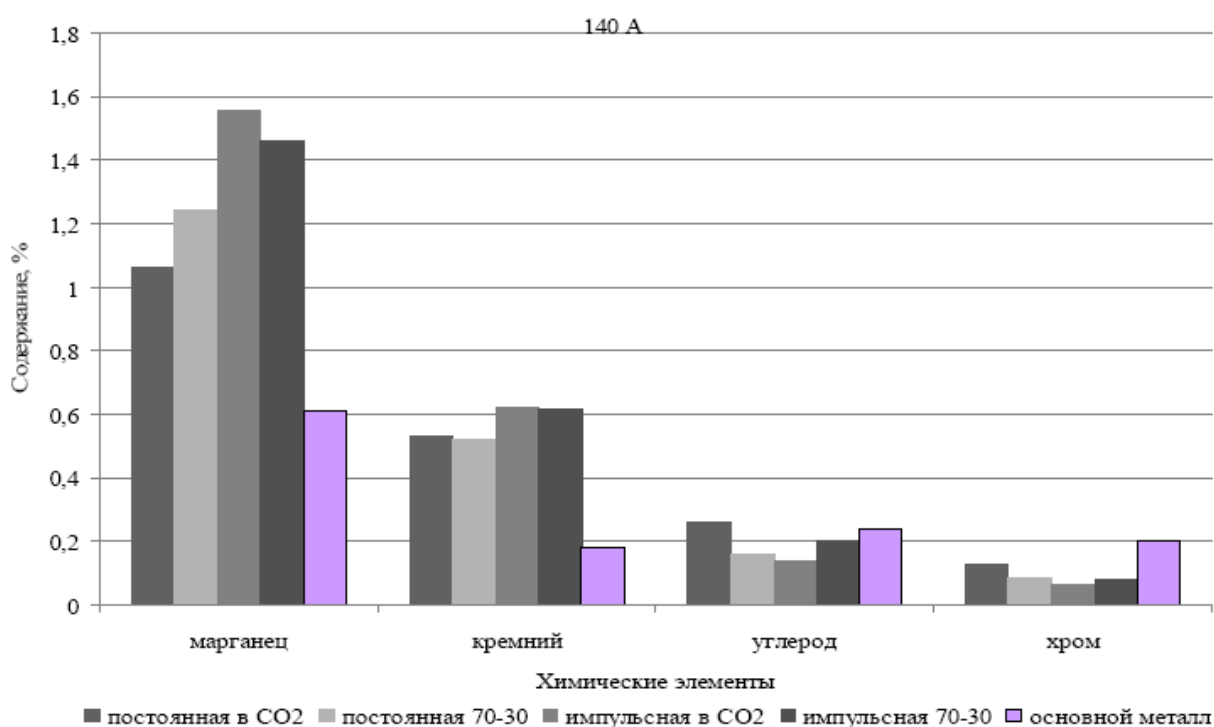
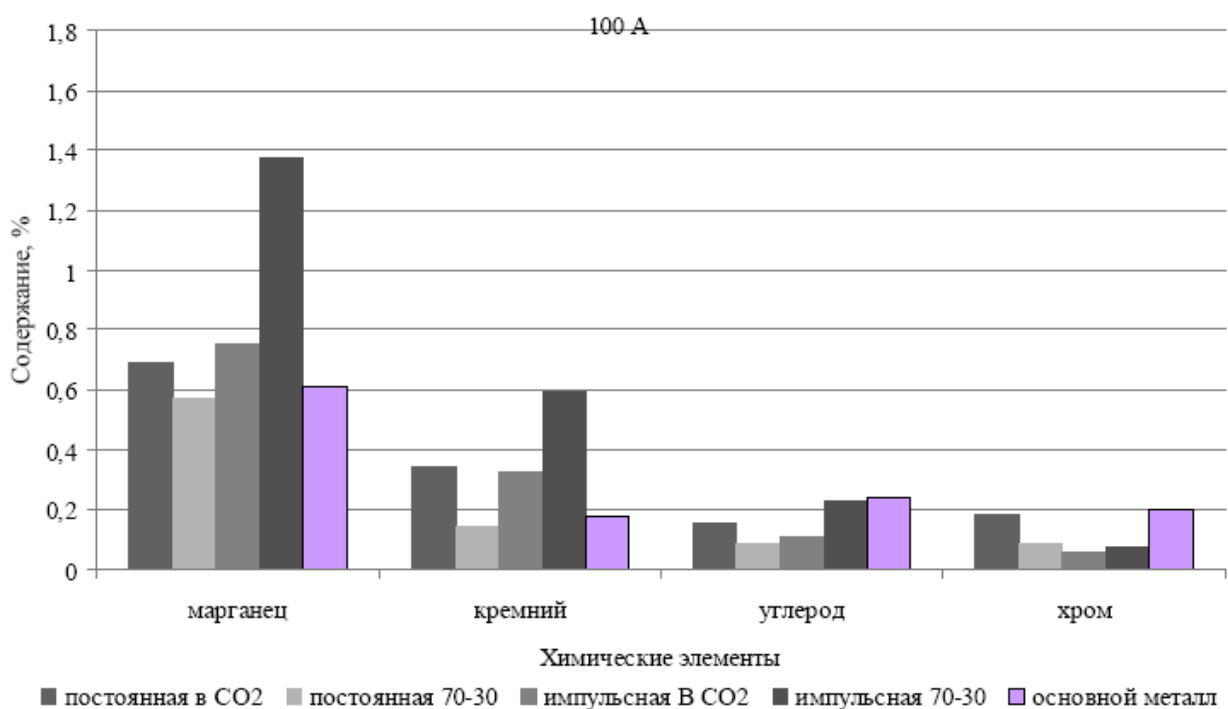


Рисунок 8 – Содержание химических элементов в сварном шве при токе сварки 100 А (а) и 140 А (б)

Сварку выполняют постоянным током обратной полярности («+» - на электроде). Параметры режима сварки зависят от выполняемого соединения и приведены в таблице 7.

Для подачи сварочной проволоки предлагаем применять механизм подачи МПК-4-2, представленный на рисунке 9-а. В качестве источника питания сварочной дуги применим выпрямитель ВДУ-3020, представленный на рисунке 9-б.

Таблица 7 – Параметры режима механизированной сварки в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения

«Толщина металла и катета шва, мм	Диаметр проволоки, мм	Проходы	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин
Стыковое, S=6...8 мм	1,2	1 проход	200...220	20...24	24...28	20...24
Стыковое, S=10...25 мм	1,2	первый	200...220	24...26	24...28	20...24
		последующие	220...260	22...24	18...22	20...24
Тавровое, К=6	1,2	1 проход	120...160	20...22	22...28	18...22» [21]

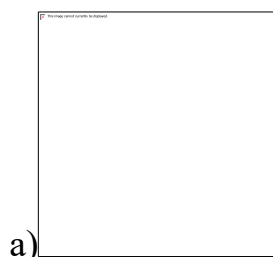


Рисунок 9 – Применяемое сварочное оборудование: механизм подачи МПК-4-2 (а) и выпрямитель ВДУ-3020 (б)

Очистку металлического проката перед запуском в производство выполняем на дробемётной установке QWD100, которая представлена на рисунке 10. Очищают всю поверхность проката от ржавчины и прокатной окалины. Для очистки применяется колотая или литая дробь ДСК диаметром 0,8...1,2 мм. До выполнения дробемётной очистки следует удалить с поверхности проката консервационную смазку и жировые загрязнения при помощи растворителя.

Для правки сортового проката предлагается применить правильную машину JZJ20-40, которая представлена на рисунке 11. После выполнения правки и очитки необходимо покрыть поверхность проката быстросохнущей грунтовкой с толщиной слоя 15...20 мкм.



Рисунок 10 – Дробемётная установка QWD100



Рисунок 11 – Правка сортового проката на машине JZJ 20-40

Разметку проката перед резкой осуществляют при помощи металлических рулеток со шкалой точности не ниже 2-го класса по ГОСТ 7520, линеек длиной 1000 мм, угломеров с нониусом, угольников и штангенрейсмусов. Предельные отклонения разметки должны составлять не более 1,0 мм.

Механическая резка проката выполняется на ленточнопильном станке JET HBS-1220AF, представленном на рисунке 12.

При сборке деталей под сварку следует обеспечивать требуемую геометрию изделия, надёжное и плотное прижатие всех деталей друг к другу, сохранение размеров при последующих перемещениях.



Рисунок 12 - Ленточнопильный станок JET HBS-1220AF

«Размеры прихваток для стыковых соединений: глубина 3...4 мм, ширина 6...8 мм, длина 50...80 мм. Размеры прихваток для угловых, тавровых и нахлёсточных соединений: катет 3...5 мм, длина 50...80 мм. После выполнения прихваток их следует очистить от шлака и брызг, проконтролировать на предмет отсутствия недопустимых дефектов (трещин, наплывов, подрезов, несплавлений по кромкам). При обнаружении дефектов прихватку удаляют, зачищают металл на глубину 1 мм» [21].

В ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы решались задачи, поставленные в первом разделе.

Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы предусматривает разработку оценочного блока [7] в котором предстоит оценить экологичность предложенных в работе решений и дать оценку на предмет обеспечения безопасности труда [1], [4].

Также при выполнении оценочного блока предстоит оценить возможный экономический эффект при внедрении предлагаемых решений в производство [9], [10].

3 Обеспечение безопасности и экологичности предлагаемых технических решений

3.1 Конструктивно-технологическая характеристика рассматриваемого объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных работ при изготовлении металлических строительных ферм.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой. Также для повышения эффективности сварки в качестве защитного газа предлагается применить смесь газов «аргон + углекислый газ».

Изменения в технологическом процессе, которые будут иметь место при внедрении предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений приводят к возникновению новых негативных производственных факторов, действие которых на персонал могут повлечь за собой вред физическому состоянию или порчу здоровья. Таким образом, возникающие негативные факторы должны быть идентифицированы и устранены.

Проектная технология может условно быть разделена на шесть операций. Первая операция – входной контроль. Вторая операция – правка. Третья операция – очистка поверхности полуфабрикатов. Четвёртая операция – разметка и резка заготовок. Пятая операция – сборка, прихватка и сварка. Шестая операция – контроль качества.

Основные технологические операции, применяемое оборудование и задействованный персонал представлены в таблице 8.

Таблица 8– Технологический паспорт технического объекта

Наименование технологической операции в соответствии с проектным процессом	Привлекаемый для выполнения операции персонал	Перечень применяемого на операции технологического оборудования
1) входной контроль	Дефектоскопист	«козловый кран, набор строп, линейка металлическая, карманный фонарик, маркер по металлу, индикатор
2) правка	Слесарь-сборщик	сортоправильная машина, линейка металлическая, угольник,
3) очистка	Слесарь-сборщик	дробемётная установка
4) разметка и резка	Слесарь-сборщик	металлическая рулетка, металлическая линейка, угольник с нониусом, чертилка, ленточнопильный станок
5) сборка, прихватка и сварка	Слесарь-сборщик, электросварщик	линейка металлическая, уровень, машинка шлифовальная угловая, приспособление сборочное, сварочный выпрямитель, шаблон сварщика, полуавтомат
6) контроль качества	Дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля; ультразвуковой дефектоскоп; набор стандартных образцов для УЗК» [20]

Изменения в технологическом процессе, которые будут иметь место при внедрении предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений приводят к возникновению новых негативных производственных факторов, действие которых на персонал могут повлечь за собой вред физическому состоянию или порчу здоровья.

Таким образом, возникающие негативные факторы должны быть идентифицированы и устранены. При этом следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии.

Представленные в таблице 8 особенности выполнения операций технологического процесса позволят в дальнейшем идентифицировать опасные производственные факторы и предложить методы защиты от них.

3.2 Идентификация профессиональных и производственных рисков

В таблице 9 представлены результаты идентификации возникающих профессиональных рисков. В данном случае источниками возникновения производственных рисков становится технологическое оборудование, размещённое на участке сварки.

Таблица 9 – Выявление и анализ источников возникновения производственных рисков

Наименование технологической операции	Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса
1) входной контроль	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
2) правка	- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;
3) очистка	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
4) разметка и резка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
5) сборка, прихватка и сварка узловых соединений	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение
6) контроль качества	- ультразвуковое излучение; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Решение по выбору эффективных средств устранения выявленных опасных и вредных производственных факторов должно основываться на основании ранее представленных в таблице 8 данных. При этом следует учитывать не только опасное воздействие на персонал негативных факторов, но и их кумулятивный эффект при длительном воздействии.

В ходе оценки выделено семь негативных производственных факторов:

- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования,
- движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования,
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны,
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека,
- повышенная температура поверхностей оборудования, материалов,
- инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации,
- ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений.

Дальнейшие работы предусматривают обоснование выбора стандартных методик и технических средств. В крайнем случае, необходимо будет предусмотреть разработку специализированных методик.

3.3 Методики и технические средства для устранения профессиональных рисков

Решения по обеспечению безопасности производственного процесса представлены в таблице 10. Для обеспечения защиты персонала от возникающих негативных производственных факторов не требует разработки специальных методик и технических средств.

Таблица 10 – Предлагаемые методики и технические средства для обеспечения производственной безопасности

Формулировка вредного или опасного фактора, который возникает в процессе выполнения данной операции технологического процесса	Перечень организационных мероприятий и технических средств, обеспечивающих устранение вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски

Для индивидуальной защиты жизни и здоровья рабочих предлагается оснастить их средствами индивидуальной защиты. Представленные в таблице 10 технические средства и мероприятия позволяют устранить негативные производственные факторы и обеспечить требуемую безопасность персонала.

3.3 Пожарная безопасность рассматриваемого технологического объекта

В процессе осуществления проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов существует опасность возникновения пожара. При этом необходимо принимать во внимание, что сварочные и наплавочные работы являются источником высокой температуры и излучения. Для защиты предприятия от возможного возникновения пожара следует идентифицировать опасные факторы возможного пожара на рассматриваемом производственном участке, что показано в таблице 11.

Таблица 11 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Участок, на котором осуществляется сборки и сварка
Наименование оборудования	Машинка шлифовальная угловая, приспособление сборочное, сварочный выпрямитель, шаблон сварщика, полуавтомат
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	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [4]

Основными негативными факторами возможного пожара являются тепловой поток, разлетающиеся искры, повышенная температура воздуха, открытое пламя, токсические продукты термического разложения и горения, плохая видимость вследствие задымления, снижение концентрации кислорода в воздухе. Кроме этого, возникновение пожара может повлечь за собой нарушение целостности несущих конструкций производственного здания, из-за чего здание может получить отрицательную устойчивость.

Также следует указать на наличие сопутствующих отрицательных проявлений пожара, к которым относят нарушение целостности изоляции и порчу электрического оборудования, отравление персонала используемыми при тушении химическими веществами, порчу оборудования используемыми при тушении химическими веществами. В таблице 12 приведены технические средства по устранению этих факторов.

Таблица 12 – Технические средства, обеспечивающие устранение опасных факторов при пожаре

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» [4]
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Пожарная безопасность рассматриваемого производственного участка обеспечивается а счёт применения различных технических средств.

В качестве первичных средств тушения применяются: огнетушители, ящик с песком, кошма.

В качестве средств индивидуальной защиты применяется план эвакуации.

В качестве пожарного инструмента применяется топор, багор и лопата.

В качестве средств оповещения применяются речевые, световые и звуковые оповещатели.

Предложенные в настоящем разделе технические средства и мероприятия позволяют максимально снизить риск возникновения пожара и своевременно устранить негативные факторы при его возникновении.

3.4 Вопросы обеспечения экологической безопасности

Реализация предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений приводит к возникновению негативного антропогенного действия на окружающую среду. Следование мировой экологической повестки заставляет современное предприятие проводить мероприятия по обеспечению экологической безопасности производственных процессов. При этом следует обеспечить защиты основных элементов нашего ареала обитания: атмосферы, гидросферы и литосферы. В таблице 13 приведены негативные воздействия на окружающую среду, которые возникают при выполнении операций проектного технологического процесса.

Таблица 13 – Идентификация негативных экологических факторов

Операция	атмосфера	гидросфера	литосфера
1) входной контроль	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
2) правка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
3) очистка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
4) разметка и резка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
5) сборка, прихватка и сварка узловых соединений	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
6) контроль качества	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор

Предлагаемые средства для защиты от антропогенного воздействия представлены в таблице 14 и включают в себя набор стандартных методик и технических средств. Особое внимание следует уделить организации селективного сбора мусора, который в значительных количествах накапливается на производственных участках. Раздельный сбор отходов позволяет выполнять эффективный рециклинг, что не только уменьшает

нагрузку на окружающую среду, но и позволяет получать значительный экономический эффект за счёт экономии ресурсов.

Таблица 14 – Предложенные мероприятия по уменьшению антропогенного действия на окружающую среду при реализации проектной технологии

Наименование составляющего среды	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
Атмосфера	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [1]
Гидросфера	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [1]
Литосфера	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [1]

Таким образом, предложенные мероприятия позволяют уменьшить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов.

Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

4 Экономическое обоснование предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений

4.1 Анализ исходной информации по базовой и проектной технологиям

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении металлических строительных ферм.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой. Также для повышения эффективности сварки в качестве защитного газа предлагается применить смесь газов «аргон + углекислый газ».

Применение прогрессивных технологий при реализации предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений и организационных мероприятий заставляет считаться с дополнительными финансовыми и трудовыми затратами. При этом необходимо выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений, от реализации которых в производстве экономический эффект должен быть положительным. Следует рассчитать капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии, себестоимость изготовления продукции и на основании этого оценить целесообразность внедрения предлагаемых решений с использованием показателей экономической эффективности.

В таблице 15 представлены исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии сборки и сварки с учётом рыночной стоимости используемого оборудования и вспомогательных затрат.

Таблица 15 – Исходные данные для проведения экономических расчётов по рассматриваемым вариантам технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
«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	$C_{об}$	руб.	400 тыс.	1500 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	40
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$C_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,85	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	800	800
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$C_{пл}$	Р/ m^2	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [12]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие расчёты с использованием представленных выше данных предполагают оценку затрат на осуществление технологического процесса по проектному и базовому вариантам.

4.2 Оценка фонда времени работы оборудования

При выполнении операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса происходит работа оборудования в течение заданного времени. Величина заработной платы и вспомогательных затрат рассчитываются с учётом фонда времени работы оборудования, который следует рассчитать по исходным данным, представленным выше. Также следует принимать во внимание, что время работы оборудования позволяет рассчитать амортизационные отчисления и затраты на производственные площади. В проектом технологическом процессе и базовом технологическом процессе предусматривается выполнение операций в течение одинакового количества смен. Поэтому годовой фонд времени для проектного технологического процесса по отношению к годовому фонду времени базового технологического процесса не изменится.

Количество рабочих дней для одного года принимаем равным $D_p=277$, при этом продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. Также следует принимать во внимание уменьшение рабочей смены на величину $T_{п}=1$ час в предпраздничные дни, количество которых для одного календарного года составляет $D_{п}=7$ дней. Для количества рабочих смен $K_{см}=2$ рассчитываем годовой фонд времени:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$ часов. Значение эффективного фона рабочего времени следует вычислить с учётом задаваемых потерь рабочего времени $V=7\%$:

$$F_3 = F_H(1 - V/100). \quad (2)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$ часов.

4.3 Оценка штучного времени при выполнении операций проектного и базового вариантов технологии

Величину штучного времени, которое будет затрачиваться на выполнение операций проектного технологического процесса и базового технологического процесса, рассчитываем с учётом нормирования труда по выполняемым операциям согласно технологической карте. Штучное время $t_{шт}$ включает в себя затраты времени на выполнение основных операций проектного и базового технологического процессов (машинное время $t_{маш}$), подготовительных и вспомогательных операций (вспомогательное время $t_{всп}$), личный отдых (время отдыха $t_{отд}$), подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$ и времени на мелкий ремонт и обслуживание оборудования (время обслуживания $t_{обсл}$):

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $t_{шт.баз} = 52 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 91$ часа и $t_{шт.проектн.} = 32 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 56$ часа.

Размер годовой программы $\Pi_{г}$ рассчитывается с учётом рассчитанных выше штучного времени для проектного и базового вариантов технологии, а также с учётом ранее определённого годового фонда времени работы оборудования:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\Pi_{г.баз.} = 2054/91 = 22$ фермы для базового технологического процесса и $\Pi_{г.пр.} = 2054/56 = 36$ фермы для проектного технологического процесса. На основании анализа потребности отрасли в рассматриваемом оборудовании принимаем размер годовой программы для проектного варианта технологии и базового варианта технологии $\Pi_{г} = 20$ ферм в год.

Требуемое количество технологического оборудования определяем с учётом ранее рассчитанного штучного времени для проектного варианта технологии и базового варианта технологии. При этом следует учесть коэффициент выполнения нормы $K_{вн} = 1,03$. Выполняем расчёт:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $n_{расч} = 91 \cdot 20 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$ для базового варианта технологического процесса; $n_{расч} = 56 \cdot 20 / (2054 \cdot 1,03) = 0,5$ для проектного варианта технологического процесса.

В дальнейшем при выполнении экономических расчётов количество оборудования для выполнения операций базового технологического процесса принимаем $n=1$. Количество оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса принимаем $n=1$. На основании этого выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования $K_з$ для базового и проектного вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $K_з = 0,9/1 = 0,9$ для базового варианта технологического процесса и $K_з = 0,5/1 = 0,5$ для проектного варианта технологического процесса.

Значение величины коэффициента загрузки оборудования $K_з$ для проектного и базового вариантов технологического процесса в дальнейшем понадобятся для расчёта капитальных затрат на построение технологии.

При расчётах следует принимать во внимание, что производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается количество коэффициента загрузки оборудования.

4.4 Расчёт заводской себестоимости при осуществлении операций технологического процесса по рассматриваемым вариантам

Выполнение операций проектного технологического процесса и операций базового технологического процесса происходят с применением расходных материалов, затраты на которые рассчитываются в зависимости от коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$, цены материалов C_M и нормы расходов материалов N_p по формуле:

$$M = C_M \cdot N_p \cdot K_{Т-З} . \quad (7)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $M = 5744$ рублей для операций базового технологического процесса; для операций проектного технологического процесса: $M = 1008 + 3940 = 4948$ рублей.

Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой сварки, в качестве материалов которой выступают штучные электроды. Проектная технология сварки предусматривает применение более прогрессивной процесса – механизированной сварки в защитных газах. В качестве сварочных материалов в этом случае выступает сварочная проволока и защитный газ.

Величина основной заработной платы рассчитывается на основании штучного времени $t_{шт}$, часовой тарифной ставки $C_ч$ и коэффициента доплат $K_д$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_д = 1,88$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{осн} = 91 \cdot 200 \cdot 1,88 = 34216$ рублей для базового варианта технологического процесса и $Z_{осн} = 56 \cdot 200 \cdot 1,88 = 21056$ рублей для проектного варианта технологического процесса.

Величина дополнительной заработной платы $Z_{доп}$ рассчитывается в

зависимости от рассчитанной выше основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента доплат $K_{\text{доп}}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{\text{доп}} = 12\%$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $Z_{\text{доп}} = 34216 \cdot 12 / 100 = 4106$ рублей для операций базового технологического процесса и $Z_{\text{доп}} = 21056 \cdot 12 / 100 = 2527$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величина фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$. Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $\text{ФЗП} = 34216 + 4106 = 38322$ рублей для операций базового технологического процесса и $\text{ФЗП} = 21056 + 2527 = 23583$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ рассчитываем с учётом коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, который для рассматриваемой выпускной квалификационной работы принимается равным $K_{\text{сн}} = 34\%$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $O_{\text{сн}} = 38322 \cdot 34 / 100 = 13029$ рублей для операций базового технологического процесса и $O_{\text{сн}} = 23583 \cdot 34 / 100 = 8018$ рублей для операций проектного технологического процесса.

Величину затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ определяем расчётным путём на основании амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$:

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

При вычислении амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ следует учитывать норму амортизации $N_{\text{а}}$, которая для рассматриваемой выпускной квалификационной работы составляет $N_{\text{а}} = 21,5\%$. Также в расчёт включено

машинное время $t_{\text{маш}}$, которое ранее было рассчитано для операций проектной и базовой технологий. В формулу включены также эффективный годовой фонд времени работы оборудования F_3 и цена оборудования $C_{\text{об}}$.

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $A_{\text{об.}} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 91 / 2054 / 100 = 3810$ рублей по базовому варианту технологии, по проектному варианту технологии: $A_{\text{об.}} = 1500000 \cdot 21,5 \cdot 56 / 2054 / 100 = 8792$ рублей.

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций по проектному технологическому процессу рассчитываются с учётом мощности оборудования $M_{\text{уст}}$, КПД оборудования, машинного времени $t_{\text{маш}}$ и стоимости электрической энергии для предприятий $C_{\text{э}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $P_{\text{э}} = 52 \cdot 25 \cdot 3,2 / 0,7 = 5943$ рублей для базового варианта технологического процесса, $P_{\text{э}} = 32 \cdot 40 \cdot 3,2 / 0,85 = 4818$ рублей для проектного технологического процесса.

После подстановки рассчитанных выше значений в формулу (11) вычисляем затраты на оборудование: $Z_{\text{об}} = 3810 + 5943 = 9753$ рублей по базовому технологическому процессу и $Z_{\text{об}} = 8792 + 4818 = 13610$ рублей по проектному технологическому процессу.

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений и организационных мероприятий предусматривает применение прогрессивного по сравнению с базовым вариантом технологии оборудование. В результате затраты на эксплуатацию оборудования при реализации проектной технологии оказываются выше, чем затраты на эксплуатацию оборудования при реализации базовой технологии.

Размер технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ определяется исходя из ранее определённых значений затрат на материалы M , отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$, фонда заработной платы ФЗП, затрат на производственные площади $Z_{\text{пл}}$ и затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{тех}} = 5744 + 38322 + 13029 + 9753 = 66848$ рублей для базового варианта технологического процесса, и для проектного технологического процесса $C_{\text{тех}} = 4948 + 23583 + 8018 + 13610 = 50159$ рублей.

Размер цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ определяется исходя из ранее определённой технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, коэффициента цеховых расходов $K_{\text{цех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину: $C_{\text{цех}} = 66848 + 1,5 \cdot 34216 = 66848 + 51324 = 118172$ рублей для базового технологического процесса и для проектного технологического процесса $C_{\text{цех}} = 50159 + 1,5 \cdot 21056 = 50159 + 31584 = 81743$ рублей.

Размер заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ определяется исходя из ранее определённой цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, коэффициента заводских расходов и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{зав}} = 118172 + 1,15 \cdot 34216 = 118172 + 39348 = 157520$ рублей для базового варианта технологии, и для проектного технологического процесса $C_{\text{зав}} = 81743 + 1,15 \cdot 21056 = 81743 + 24214 = 105957$ рублей.

В таблице 16 представлена калькуляция заводской стоимости.

Таблица 16 – Исходные данные и расчёт заводской стоимости

Показатель	Условное обозначение	Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	5744	4948
2. Фонд заработной платы	ФЗП	38322	23583
3. Отчисления на соц. нужды	ОСН	13029	8018
4. Затраты на оборудование	Зоб	9753	13610
5. Затраты на площади	Зпл	66848	50159
6. Технологическая себестоимость	Стех	51324	31584
7. Цеховые расходы	Рцех	118172	81743
8. Цеховая себестоимость	Сцех	39348	24214
9. Заводские расходы	Рзав	157520	105957
10. Заводская себестоимость» [12]	Сзав	5744	4948

Данные, представленные в таблице 16, позволяют судить о высокой эффективности проектной технологии, которая позволяет уменьшить заводскую себестоимость относительно базовой технологии.

Дальнейшие работы направлены на определение величины капитальных вложений при реализации проектной технологии и реализации базовой технологии.

4.5 Капитальные затраты при реализации проектного и базового вариантов технологии

Вычисляем капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ на реализацию технологического процесса по базовому варианту. Расчёт следует выполнять с учётом коэффициента загрузки оборудования K_p и остаточной стоимости оборудования $C_{\text{об. б.}}$.

Величину остаточной стоимости оборудования определяем с учётом рыночной стоимости аналогичного нового оборудования $C_{\text{перв.}}$, срока службы оборудования $T_{\text{сл}}$ и нормы амортизационных отчислений N_a :

$$C_{\text{об.б.}} = C_{\text{перв.}} - (C_{\text{перв.}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot N_a / 100). \quad (17)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $C_{\text{об.б.}} = 400000 - (400000 \cdot 2 \cdot 21,5 / 100) = 228000$ рублей.

Капитальные затраты по базовой технологии могут быть рассчитаны как:

$$K_{\text{общ. б.}} = C_{\text{об.б.}} \cdot K_{\text{з.б.}} \quad (18)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 228000 \cdot 0,9 = 205200$ рублей.

Расчёт капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ при реализации проектной технологии требует учёта капитальных вложений в производственные площади $K_{\text{пл. пр.}}$, сопутствующих затрат $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об. пр.}}$:

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

Величина капитальных затрат на оборудование для реализации проектного варианта технологического процесса рассчитывается с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого для настоящей выпускной квалификационной работы составило $K_{\text{тз}}=1,05$, цены оборудования $C_{\text{об}}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{зп}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{об. пр.}} = 1500000 \cdot 1,05 \cdot 0,5 = 787500$ рублей.

Величина сопутствующих затрат $K_{\text{соп}}$ рассчитывается с учётом расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ оборудования по базовому технологическому процессу и монтаж $P_{\text{мон}}$ оборудования по проектному технологическому процессу.

Расходы на демонтаж с учётом коэффициента расходов на демонтаж оборудования $K_{\text{дем}} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д.}} \quad (21)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{\text{дем}} = 400000 \cdot 0,05 = 20000$ рублей.

Расходы на монтаж с учётом коэффициента расходов на монтаж оборудования $K_{\text{мон}} = 0,05$ рассчитываются как

$$P_{\text{монт}} = Ц_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м.}} \quad (22)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{\text{монт}} = 1500000 \cdot 0,05 = 75000$ рублей.

Величина сопутствующих расходов определяется как

$$P_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт.}} \quad (23)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $P_{\text{соп}} = 20000 + 75000 = 95000$ рублей.

Далее с использованием подставленных в формулу (19) значений получили общие капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}} = 7875000 + 95000 = 882500$ рублей.

Расчёт дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$ проводим с учётом капитальных затрат для проектной технологии $K_{\text{общ. пр}}$ и капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б}}$:

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{доп}} = 882500 - 205200 = 677300$ рублей.

Величину удельных капитальных вложений определяем с учётом годовой программы $\Pi_{\text{г}}$:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{г}} \quad (25)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $K_{\text{уд}} = 205200/20 = 10260$ рублей за единицу продукции по базовой технологии и $K_{\text{уд}} = 882500/20 = 44125$ рублей за единицу продукции по проектной технологии.

На основании ранее проведённых экономических расчётов предстоит оценить целесообразность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

4.6 Показатели экономической эффективности

Для выполнения экономического обоснования настоящей выпускной квалификационной работы рассчитаем основные показатели эффективности.

Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta t_{шт} = (91 - 56) \cdot 100 \% / 91 = 38 \%$.

Повышение производительности Π_T рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_T = 100 \cdot 38 / (100 - 38) = 61 \%$.

Уменьшение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ рассчитывается как

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

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta C_{тех} = (66848 - 50159) \cdot 100\% / 66848 = 25 \%$.

Размер условно-годовой экономии $\Pi_{ож}$ рассчитывается как

$$\Pi_{ож} = \mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T . \quad (29)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Pi_{ож} = (157520 - 105957) \cdot 20 = 1031260$ рублей.

Длительность срока окупаемости предлагаемых мероприятий $T_{ок}$ составляет:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} . \quad (30)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $T_{ок} = 677300 / 1031260 = 0,6$ года.

Величина годового экономического эффекта $\mathcal{E}_Г$ рассчитывается как

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп} . \quad (31)$$

Представленные выше исходные значения позволяют получить расчётную величину $\Delta \Gamma = 1031260 - 0,33 \cdot 677300 = 807751$ рублей.

Таким образом, с учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства.

Производительность труда повышается на 61 %. Уменьшение технологической себестоимости составило 25 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,8 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,6 года.

При расчётах следует принимать во внимание, что производительность в проектной технологии по сравнению с базовой технологией значительно увеличилась. Это приводит либо к уменьшению количества применяемого оборудования, либо к уменьшению коэффициента загрузки оборудования. В настоящей выпускной квалификационной работе уменьшается количество коэффициента загрузки оборудования.

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений и организационных мероприятий предусматривает применение прогрессивного по сравнению с базовым вариантом технологии оборудования. В результате затраты на эксплуатацию оборудования при реализации проектной технологии оказываются выше, чем затраты на эксплуатацию оборудования при реализации базовой технологии.

Значительное повышение производительности труда достигается не только за счёт применения прогрессивного оборудования, но и за счёт повышения стабильности качества выпускаемой продукции. Это позволяет уменьшить трудовые и финансовые затраты на обнаружение и исправление брака.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности сварочных технологий при изготовлении металлических строительных ферм.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил обосновать выбор способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением горением сварочной дугой. Также для повышения эффективности сварки в качестве защитного газа предлагается применить смесь газов «аргон + углекислый газ».

Выполнение операций проектного технологического процесса, который был представлен в исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы, приводит к возникновению негативных производственных факторов и негативных экологических факторов. Выполненная идентификация этих негативных факторов позволила предложить стандартные методики и технические средства для защиты персонала и окружающей среды.

Применение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений и организационных мероприятий предусматривает применение прогрессивного по сравнению с базовым вариантом технологии оборудования. Значительное повышение производительности труда достигается не только за счёт применения прогрессивного оборудования, но и за счёт повышения стабильности качества выпускаемой продукции. Это позволяет уменьшить трудовые и финансовые затраты на обнаружение и исправление брака.

С учётом особенностей выполнения операций технологического процесса по проектному варианту и базовому варианту был выполнен расчёт основных экономических показателей производства.

Производительность труда повышается на 61 %. Уменьшение

технологической себестоимости составило 25 %. При этом за счёт повышения производительности труда и снижения издержек удалось получить годовой экономический эффект в размере 0,8 млн. рублей. Средства, затраченные на внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений, будут окуплены за 0,6 года.

Таким образом, внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений в производство позволяет получить доказанный расчётным путём экономический эффект. Доказана экономическая и технологическая эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

На основании вышеизложенного следует считать поставленную цель выпускной квалификационной работы достигнутой.

Результаты настоящей выпускной квалификационной работы рекомендуются к внедрению на предприятиях, которые выполняют работы по изготовлению несущих строительных конструкций.

Также следует принимать во внимание, что предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения и организационные мероприятия позволяют судить о высокой эффективности замены ручных способов сварки на механизированные способы. Если ранее такая эффективность была доказана при выполнении швов большой протяжённости, то в настоящей выпускной квалификационной работе доказана эффективность механизации и автоматизации при выполнении коротких швов на решетчатых конструкциях.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
2. Блинов Ю. Н. Особенности обследования технического состояния металлических конструкций высотных сооружений с помощью методов неразрушающего контроля и промышленного альпинизма. Рекомендации по восстановительным работам // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. 2013. № 2. С. 57–61.
3. Голов Р.С., Сорокин А.Е., Мельник А.В., Рожков И.В. Основные технологические и маркетинговые тенденции развития сварочного производства // Сварочное производство. 2016. № 11. С. 46–51.
4. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
5. Еремин Е. Н., Кац В. С., Бородихин С. А. Оборудование для дуговой сварки под слоем флюса. Омск : ОмГТУ, 2018. 121 с.
6. Казакова Е. В. Анализ напряжённо-деформированного состояния бесфасоночных узлов лёгких ферм // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2019. № 53. С. 36–40.
7. Климов А. С. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-метод. пособие по выполнению выпускной квалификационной работы бакалавра. Тольятти : ТГУ, 2021. 62 с.
8. Крампит, А.Г. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению / А.Г. Крампит, Н.Ю. Крампит, Э.К. Габитов // Технологии и материалы. – 2016. – № 4. – С. 18–23.
9. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
10. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

11. 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.
12. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.
13. Молева Д. А., Белозор М. Ю. Обоснование применения сталей для изготовления строительных конструкций // Вестник Череповецкого государственного университета. 2012. № 4. С. 28–31.
14. Неёлов, Ю.В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации / Ю.В. Неёлов // Аналитический вестник. – 2015. – № 27. – С. 4–7.
15. Павлов Н. В., Крюков А. В., Зернин Е. А. Распределение температурных полей при сварке в смеси газов с импульсной подачей электродной проволоки // Сварочное производство. 2011. № 1 С. 35–36.
16. 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.
17. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнология, 2007. 192 с.
18. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6-7. С. 60–64.
19. Салахутдинов М. А., Кузнецов И. Л., Саянов С. Ф. Стальные фермы с поясами из труб многогранного сечения // Известия КГАСУ. 2016. № 4. С. 236–242.
20. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. Ред. Н. П. Алёшина, Г. Г. Чернышова – М.: Машиностроение, 2004. Т.2 / Н. П. Алёшин [и др.] – 480 с.

21. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. С.-Пб. : Изд-во «Лань», 2012. 272 с.

22. Указания по осмотру и усилению эксплуатируемых сварных пролетных строений. – М.: МПС, ГУП, НИИМостов ЛИИЖТа, 1990. – 28 с.

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

24. Юрченко В. В. Анализ соединения для узлов сквозных ферм металлических железнодорожных мостов // Сборник научных трудов ДониЖТ. 2019. № 55. С. 58–62.

25. Characterization of microstructure and local deformation in 316NG weld heat-affected zone and stress corrosion cracking in high temperature water / Lu Zhanpeng, Shoji Tetsuo, Meng Fanjiang, Xue He, Qiu Yubing, Takeda Yoichi, Negishi Koji // Corrosion Science. – 53 (2011) – P. 1916–1932.

26. Measurement and prediction of residual stress in a bead-on-plate weld benchmark specimen /X. Ficquet, D.J. Smith, C.E. Truman, E.J. Kingston, R.J. Dennis // International Journal of Pressure Vessels & Piping. – 86 (2009) 1. – P. 20–30.