

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 роботизированной сварки деталей трубопроводов

Обучающийся

М.С. Хапин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

Аннотация

При эксплуатации и строительстве технологических трубопроводов расходуется значительное количество фасонных деталей, изготовление которых с применением сварочных работ требует значительных трудовых затрат. При этом из-за старения трубопроводов и необходимости проведения внепланового ремонта на нефтеперерабатывающих предприятиях, расположенных в Европейской части Российской Федерации, потребность в фасонных деталях трубопровода будет только увеличиваться. Исходя из этого рассматриваемая выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности сварочных операций при изготовлении элементов трубопроводов. Выпускная квалификационная работа включает введение, четыре раздела, заключение и библиографический список. Во введении на основании краткого анализа состояния вопроса выполнено обоснование актуальности и сформулирована цель. Первый раздел является аналитическим и содержит исходную информацию по рассматриваемому изделию, анализу материала и особенностям базовой технологии. Во втором разделе обоснован выбор способа сварки, предложен роботизированный технологический комплекс и составлена проектная технология. В третьем разделе показано, что предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми мероприятиями. В четвертом разделе проведено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений в современное производство. Полученные результаты предлагаются к внедрению на предприятиях, ведущих деятельность в области изготовления элементов технологических трубопроводов.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние сварки элементов трубопровода и анализ известных решений в области роботизации.	7
1.1 Описание изделия и особенностей его конструкции	7
1.2 Анализ материала для изготовления элементов трубопровода. ...	9
1.3 Особенности базовой технологии и формулировка недостатков базовой технологии	11
1.4 Анализ источников научно-технической информации по рассматриваемому вопросу.	18
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. ...	22
2 Проектная технология роботизированной сварки элементов трубопровода.	24
2.1 Обоснование выбора способа сварки.	24
2.2 Сварочное оборудование.	31
2.3 Проектная технология сварки.	36
3 Производственные и экологические риски при реализации проектной технологии	40
3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений.	40
3.2 Профессиональные риски.	41
3.3 Устранение профессиональных рисков.	43
3.4 Пожарная безопасность предприятия.	44
3.5 Экологическая безопасность производственного участка.	46
4 Экономическая эффективность предлагаемых решений.	48
4.1 Вводные данные для экономического анализа.	48
4.2 Фонд времени работы оборудования	50
4.3 Штучное время и годовая программа.	51
4.4 Расчёт заводской себестоимости.	53

4.5 Капитальные затраты.	60
4.6 Экономические показатели эффективности	62
Заключение	66
Список используемой литературы и используемых источников.	88

.

Введение

Как показывает практика строительства трубопроводов, сварка их элементов является одной из самых ответственных операций, правильное выполнение которой определяет дальнейшую эксплуатацию всего трубопровода после строительства. Технологии сварки продолжают непрерывно совершенствоваться, так как до настоящего времени не достигнуты требуемые показатели по качеству сварных соединений и эксплуатационной надежности, которые по мере развития современного общества продолжают повышаться. Автоматизация и роботизация сварочного производства позволяет повысить производительность и эффективность сварочных технологий, улучшая условия труда сварщиков и делая возможным применение прогрессивных способов сварки. «Однако роботизация сварочного производства встречает ряд затруднений. Главное затруднение связано с тем, что по сравнению с ручной дуговой сваркой и механизированной сваркой, при роботизированной сварке существенно повышаются требования точности сборки заготовок. Причиной этого является способность сварщика вручную компенсировать неточность сборки, что при автоматической и роботизированной сварке затруднено» [16]. При изготовлении элементов трубопроводов с давних пор применяется сварка, которая представлена «ручной дуговой сваркой и реже механизированной сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения. Поворотные стыки элементов большого диаметра могут быть эффективно свариваться с применением автоматической сварки под флюсом. Достижения в области автоматизации и роботизации сварочного производства позволяют существенно повысить производительность и качество» [16] изготовления элементов трубопровода, но для этого понадобится поиск решений, позволяющих осуществлять сварочные процессы с повышенной эффективностью на основании современных достижений в области управления сварочными процессами.

Роботизация сварочного производства по сравнению с «традиционным производством позволяет отказаться от применения ручной дуговой сварки и механизированной сварки, которые ранее являлись причиной брака продукции и повышения трудоемкости её изготовления. Построение роботизированного производства предлагается проводить на базе автоматической сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, для повышения эффективности которой могут быть применены методы импульсного управления переносом электродного металла» [10].

Проведенные предварительные литературные исследования позволяют сформулировать выгоды, получаемы предприятием при переходе от традиционного способа производства к роботизированной сварке элементов трубопровода. Первым преимуществом является снижение себестоимости выпускаемой продукции, основным условием достижения которого является организация сборки и сварки элементов трубопровода в заводских условиях с применением современных средств роботизации. Вторым преимуществом является высокое качество выпускаемой продукции, которое обеспечивается применением перспективных способов сварки и систем управления сварочными процессами, что в условиях традиционного производства затруднено. Третьим преимуществом является повышение производительности сборки трубопровода за счёт более высокого качества и точности изготовления его элементов в условиях роботизированного производства [4], [9], [20], [23].

На основании вышеизложенного следует сделать вывод об актуальности выбранного направления исследования, целью ко которого является повышение эффективности сварочных работ при изготовлении элементов трубопроводов за счёт роботизации производства.

Поставленную цель необходимо достигать с применением преимущественно отечественных разработок и разработок стран с дружественными режимами, что позволит обеспечить промышленную безопасность страны [3], [12], [17].

1 Современное состояние сварки элементов трубопровода и анализ известных решений в области роботизации

1.1 Описание изделия и особенностей его конструкции

При выполнении настоящей выпускной квалификационной работы рассматривается случай изготовления типовых деталей трубопровода, на примере представленного на рисунке 1 отвода.

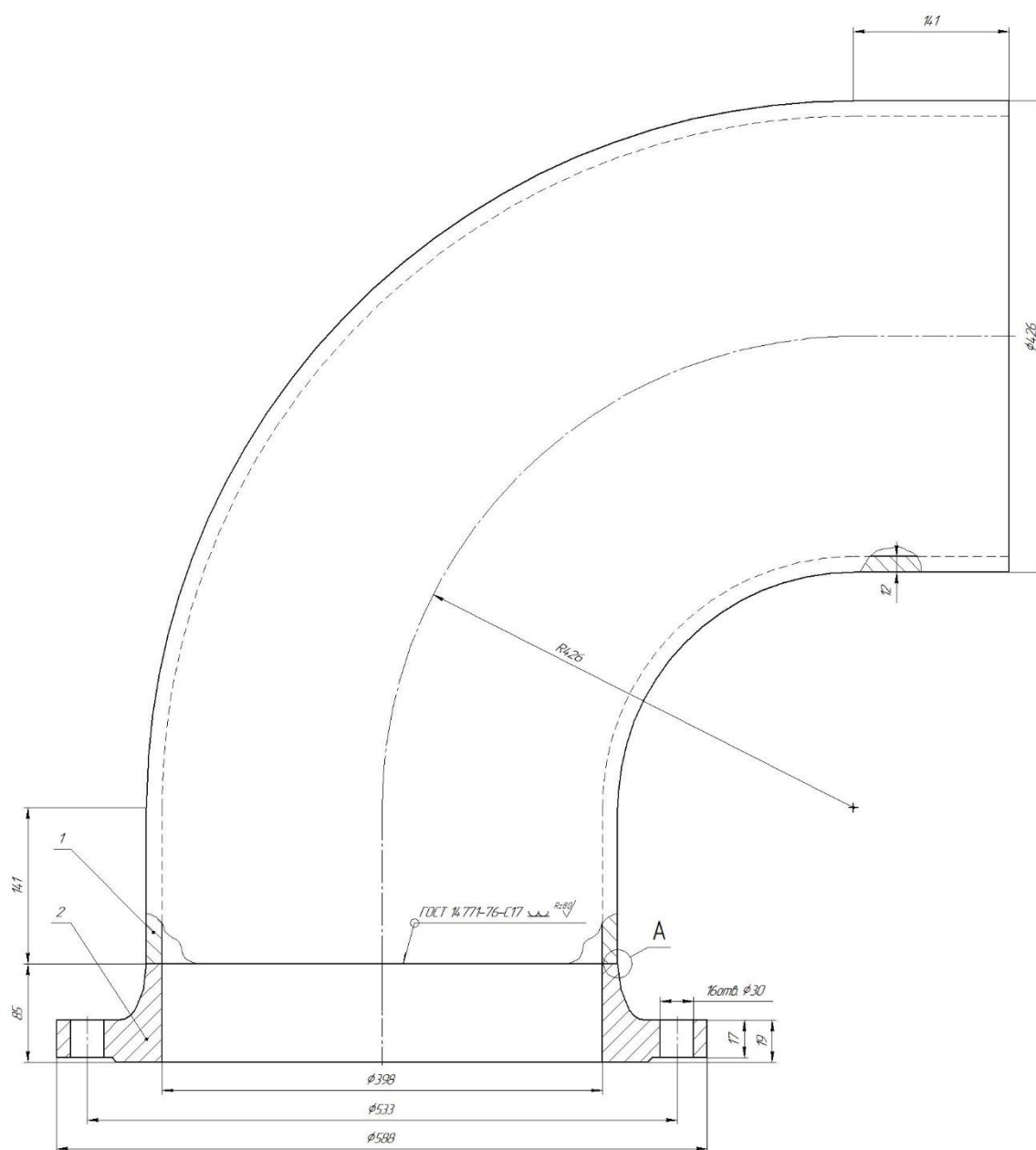


Рисунок 1 – Сварной отвод

Отвод рассматриваемой конструкции предназначен для того, чтобы оперативно соединять трубы диаметром 426 мм, которые расположены под углом 90 градусов. Так как монтируемый трубопровод предназначен для работы в агрессивной среде, его составляющие выполняют из стали 08X18H10T. Отвод выполнен в виде двух полуобечеек, которые при помощи сварки соединены двумя продольными швами, и одного приваренного к ним фланца, который приваривается кольцевым швом. Толщина стенки обечеек составляет 12 мм, форма подготовки кромок и форма сварного шва представлены на рисунке 2. Толщина стенки приварного фланца составляет 17 мм, форма подготовки кромок и форма сварного шва при выполнении кольцевого шва при присоединении приварного фланца показаны на рисунке 3.

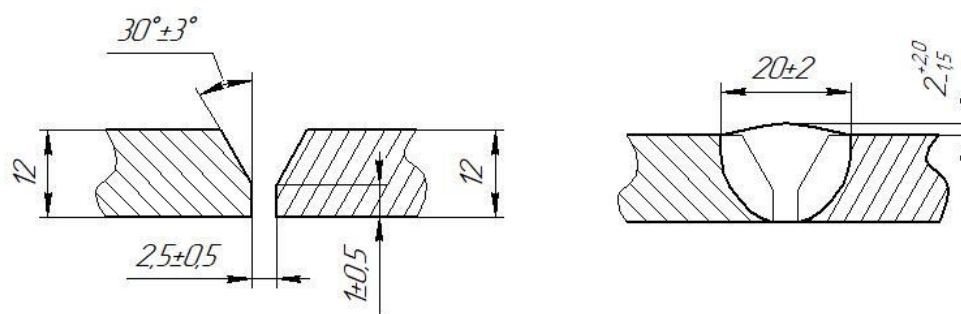


Рисунок 2 – Форма подготовки кромок и форма сварного шва при выполнении продольного шва при соединении полуобечеек отвода

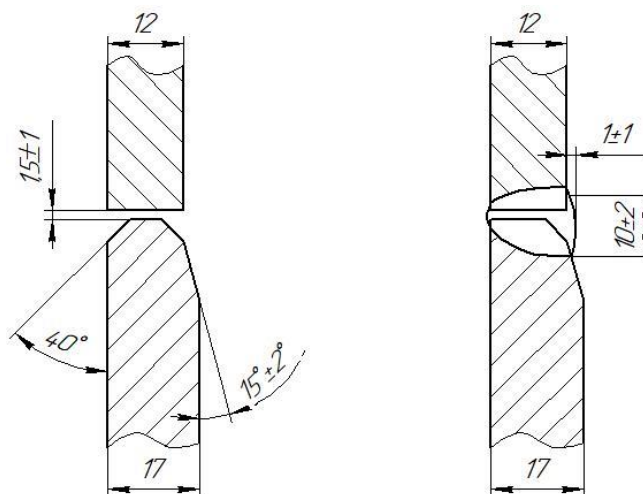


Рисунок 3 – Форма подготовки кромок и форма сварного шва при выполнении кольцевого шва при соединении фланца отвода

Выполнение сварных швов проходит в соответствии с ГОСТ 16037 и ГОСТ 5264. Сварные швы выполняются с применением ручной дуговой сварки штучными электродами. В качестве альтернативного варианта, позволяющего повысить экономические показатели производства, рассматривается вопрос замены ручной дуговой сварки на механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Однако резкое увеличение потребности в рассматриваемых изделиях требует многократного повышения производительности, что заставляет рассмотреть вопрос роботизации производства с привлечением государственного финансирования в рамках целевой программы модернизации значимых производств.

1.2 Анализ материала для изготовления элементов трубопровода

Рассматриваемые элементы технологического трубопровода предназначены для проведения оперативного ремонта технологических трубопроводов на нефтеперерабатывающих предприятиях, предназначенных для передачи агрессивных сред. Поэтому для «изготовления элементов применяется сталь 08X18H10T (AISI 304). Содержание химических элементов в рассматриваемой стали представлено в таблице 1. Рассматриваемая сталь широко применяется в нефтехимической и химической промышленности для изготовления технологических трубопроводов и аппаратов, работающих в агрессивных средах при избыточном давлении и температурах от -196 до +600 °С» [21], [22]. Высокая коррозионная стойкости стали обеспечивается повышенным содержанием в ней хрома, которое составляет 17...19 %.

Таблица 1 – Состав стали AISI 304 в процентах

C	S	P	Cr	Ni	Mn	Si	Cu	Ti
<0,08	<0,02	<0,035	17-19	9-11	<2	<0,8	<0.3	0,5 – 0,7

Однако из-за «высокого содержания в стали хрома возникают трудности при сварке. Первой трудностью считается высокая вероятность возникновения

горячих трещин по причине аустенитной структуры металла сварного шва. Второй трудностью является охрупчивание металла в зоне сварного соединения и межкристаллитная коррозия, которая наиболее сильно проявляется в процессе длительной эксплуатации и может послужить причиной выхода изделия из строя» [6]. При сварке аустенитных сталей приходится принимать во внимание высокие значения коэффициента линейного расширения, которые значительно превосходят коэффициент линейного расширения низкоуглеродистых сталей. По этой причине в сварных конструкциях из аустенитных сталей наблюдается повышенный уровень остаточных напряжений и деформаций. Также при сварке следует соблюдать технику, обеспечивающую снижение выгорания легирующих элементов, что может усилить межкристаллитную коррозию.

Для повышения коррозионной стойкости многослойных сварных соединений участки шва, обращенные к агрессивной среде, следует выполнять в последнюю очередь. Также следует обеспечить гладкую поверхность сварных швов без резких переходов к основному металлу, что позволяет устранить влияние концентраторов напряжений. Сварку следует вести на короткой дуге, что позволяет значительно уменьшить выгорание легирующих элементов и обеднение металла сварного шва. Также при сварке следует применять материалы, состав которых предусматривает компенсацию выгорания легирующих элементов в ходе сварки.

Для повышения эксплуатационных свойств сварных швов могут применяться поверхностно-пластическое деформирование, сварка с принудительным охлаждением. Сварка на пониженном сварочном токе. Особое внимание следует уделить отсутствию в сварном шве дефектов, которые могут играть роль концентраторов напряжений и стать причиной развития трещины и аварийного разрушения конструкции в ходе эксплуатации.

1.3 Особенности базовой технологии и формулировка недостатков базовой технологии

Для перемещения заготовок внутри производства применяются внутрицеховой транспорт, с применением которого происходит перемещение заготовок со склада на участок сборки и сварки. Перед сборкой детали следует зачистить до металлического блеска по всей длине сварных швов на ширину 20...25 мм. Далее выполняют обезжиривание торцев и прилегающих поверхностей с применением жидкости «Нефрос-С» или уайт-спирита, после чего выполняют просушку поверхности заготовок сжатым воздухом. После подготовки поверхности заготовки могут пролеживать не более 30 минут, если время пролеживания превышено, обезжиривание следует повторить.

Сборку проводят с применением универсального приспособления и прихваточных швов. «Длина прихватки составляет порядка 60...70 мм при расстоянии между прихватками 250...350 мм. таким образом, на один сварной шов, продольный или кольцевой, приходится не менее трех прихваток. Высота прихватки должна быть 3...4 мм. Для выполнения прихваток применяются сварочные электроды ЭА-400/10Т диаметром 3 мм» [21]. при выполнении прихваток ток сварки устанавливают 70...90 А, длина дуги поддерживается порядка одного диаметра электрода, сварка на длинной дуге приводит к выгоранию легирующих элементов и обеднению сварного шва. К прихваткам предъявляются такие же требования по качеству, как и к корню сварного шва, при обнаружении в ходе визуального контроля недопустимых дефектов прихватки срезают и переваривают. В таблице 2 представлен типовой состав наплавленного металла при применении электродов ЭА-400/10Т.

Таблица 2 – Состав наплавленного металла при использовании электродов ЭА-400/10Т

С	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	V	S	P
0,07	18,1	10,5	2,2	2,8	0,5	0,58	0,020	0,025

При сварке электродами ЭА-400/10Т «удается обеспечить высокую стойкость сварного шва против межкристаллитной коррозии без проведения термической обработки сварного шва. Перед выполнение сварки следует провести прокалку электродов в течение 1 часа при температуре 120...150 °С. Прокалку проводят в печи ПСПЭ 90-400, которая представлена на рисунке 4-а. после прокалки электроды помещают в резервную печь ПСПЭ 10-40, представленную на рисунке 4-б, откуда по одному изымаются перед самым использованием. Количество электродов, которые подвергаются прокалке, должно соответствовать количеству электродов, расходуемых за смену. Если в течение одной смены электроды не были полностью израсходованы, дальнейшее использование электродов допускается после проведения повторной прокалки. Допускается проведение не более трех прокалок» [21], если за это время электрод не был использован, он признается негодным и утилизируется.

«Сварку следует вести на минимальной длине дуги, что обеспечивает снижение выгорания легирующих элементов. Также не допускается прерывание сварки до полного израсходования сварочного электрода. При прерывании сварки кратеры выводить на основной металл не допускается, зажигание и гашение дуги следует выполнять на кромках или на наплавленном металле с тщательным заплавлением кратера и его проверки на отсутствие кратерной трещины» [21].



Рисунок 4 – Печи для прокалки и хранения электродов ПСПЭ 90-400 (а) и ПСПЭ 10-400 (б)

Для питания сварочной дуги применяется представленный на рисунке 5 сварочный выпрямитель Idealarc DC-655. Избыточная мощность этого источника питания позволяет обеспечить многопостовую сварку. Данный источник питания оснащен электронным управлением, позволяющим обеспечить легкое зажигание и гашение сварочной дуги, а также уменьшить разбрызгивание при сварке. Источник является универсальным и может применяться как для ручной дуговой сварки, так и для механизированной сварки и сварки неплавящимся электродом. Также благодаря повышенной мощности этот источник питания может быть использован для автоматической сварки под флюсом.



Рисунок 5 – Сварочный источник питания Idealarc DC-655

После выполнения прихваток и проверки качества следует провести зачистку поверхности деталей от шлака и брызг, далее выполняют заполнение разделки. Сварку ведут с применением электродов электроды ЭА-400/10Т диаметром 4 мм. Ток сварки устанавливают 100...120 А. Возбуждение и гашение сварочной дуги следует выполнять на наплавленном металле с отступом от конца сварного шва на 15...20 мм, при этом кратер следует тщательно заправлять. При сварке следует контролировать температуру основного металла, которая на расстоянии 40 мм от сварного шва не должна

превышать 100 °С. В противном случае следует применить принудительное охлаждение.

После выполнения сварки и остывания шлака следует выполнить очистку поверхности деталей от шлака и брызг расплавленного металла. «Далее проводят визуальный контроль качества. Невооруженным глазом и с применением комплекта для визуально-измерительного контроля, представленного на рисунке 6. В состав комплекта входит футляр для хранения, в котором помещены инструкция для проведения контроля, электрический фонарик, набор луп увеличения 3, 4, 7 и 10 крат без подсветки. Лупа увеличением 3,5 крат с подсветкой, электрический фонарик, металлическая линейка, штангенциркуль, универсальный шаблон сварщика, набор радиусных шаблонов, рулетка, маркер по металлу, набор щупов. В ходе проведения визуального контроля не допускается грубая чешуйчатость сварного шва, наплывы и подрезы более 0,5 мм. Не допускаются трещины всех видов и направлений, выходящие на поверхность поры размером более 2 мм, занижение сварного шва. Если обнаружен недопустимый дефект, дефектное место вырубает и переваривают» [21]. К следующим методам контроля приступают только после положительного решения по результатам визуального контроля.



Рисунок 6 – Набор для проведения визуально-измерительного контроля

После проведения визуального контроля проводят проверку качества ультразвуковыми методами с применением представленного на рисунке 7 ультразвукового дефектоскопа UCD-50. Объем контроля ультразвуковыми методами составляет 30 %. В основном для контроля следует выбирать места с подозрением на наличие недопустимых дефектов.



Рисунок 7 – Ультразвуковой дефектоскоп UCD-50

В случае обнаружения недопустимых дефектов дефектное место следует вырубить и переварить с проведением контроля визуального и ультразвукового. Разрешается не более двух переварок дефектного места, так как большее количество циклов сварки приводит к ухудшению структуры основного металла и ухудшению эксплуатационных свойств изделия.

«Базовая технология сборки и сварки предполагает применение ручной дуговой сварки покрытыми электродами с перспективной замены ручной дуговой сварки механизированной сваркой проволокой сплошного сечения в защитном газе» [4]. По сравнению с роботизированным производством применение ручной сборки и сварки имеет ряд недостатков, которые отмечены исследователями и авторами ряда работ [4], [9], [10].

Первым недостатком является повышение себестоимости выпускаемой продукции, что объясняется высокой трудоемкостью сборки и сварки

элементов трубопровода в заводских условиях, устраняемой на современном производстве благодаря применению средств роботизации. Вторым недостатком является низкое качество выпускаемой продукции, которое может быть повышено за счёт применения перспективных способов сварки и систем управления сварочными процессами, что может быть реализовано в условиях современного роботизированного производства. Третьим недостатком является низкая производительность сборки элементов трубопровода, что в первую очередь объясняется низкой точностью сборки и трудоемкостью сварки с применением ручных и механизированных способов. В работе [10] сформулированы недостатки традиционного производства с применением ручной дуговой сварки. «Первым недостатком является ужесточение условия труда сварщика по сравнению с другими способами построения производства, что становится причиной быстрой утомляемости работника и опасности получения им профессиональных заболеваний. Вторым недостатком является низкая производительность работ. Третьим недостатком является повышенный расход электродного металла на огарки и разбрызгивание. Четвертым недостатком является значительное количество дефектов» [10], исправление которых дополнительно повышает трудоемкость изготовления элементов трубопровода. Кроме того, по причине высокой дефектности изготовленных элементов трубопровода в процессе эксплуатации трубопровода повышается риск аварийной остановки, а в процессе строительства трубопровода повышается трудоемкость строительства.

Также следует отметить недостатки применения универсальных приспособлений для сборки и сварки. Применение универсальных сборочных приспособлений характеризуется высокой эффективностью при выполнении малой партии элементов трубопровода или при построении опытного производства. На рисунке 8 представлен пример применения универсального сборочного приспособления для сборки и сварки элемента трубопровода.

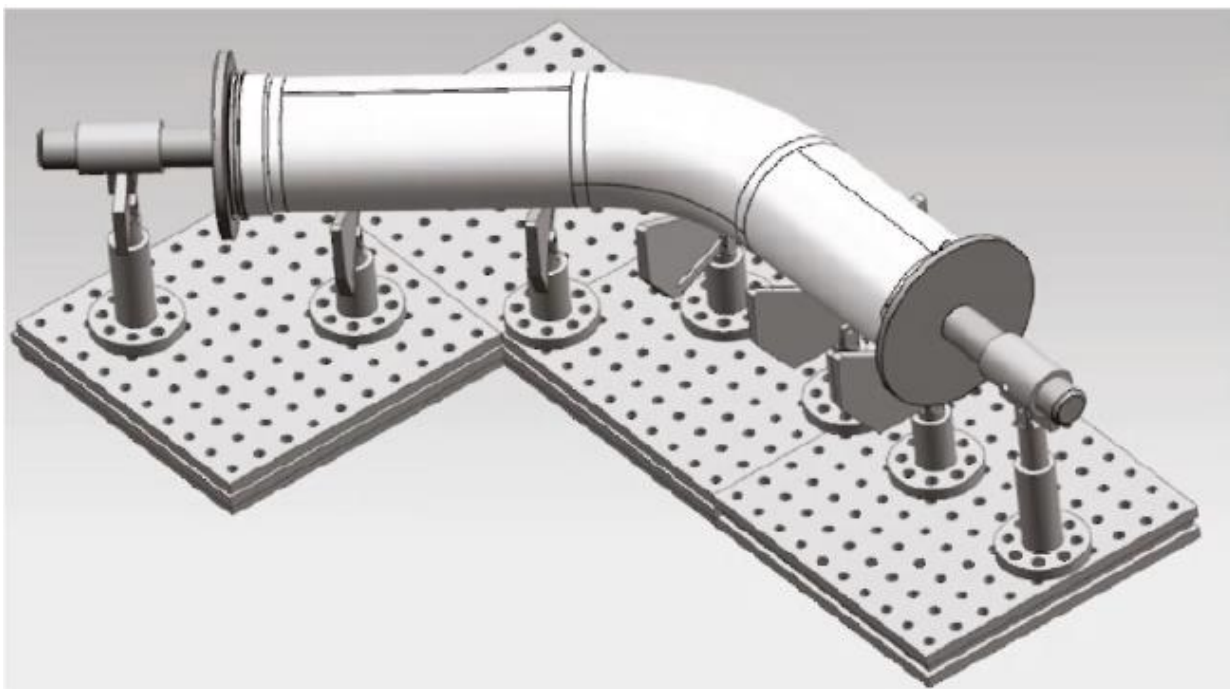


Рисунок 8 – Пример применения универсального сборочного приспособления

Для массового производства следует вести разработку специализированных приспособлений. Изготовление элементов трубопроводов с применением ручной дуговой сварки характеризуется малой производительностью, утомляемостью сварщика, значительным количеством дефектов и вредными условиями труда. Внедрение роботизированной сварки с применением предлагаемых в работе [20] подходов позволяет существенно повысить эффективность производства за счёт сокращения складской площади, уменьшения роли человеческого фактора в обеспечении качества сварной продукции, повышения стабильности технологического процесса, повышения производительности, уменьшения воздействия негативных производственных факторов на здоровье персонала.

Также следует принимать во внимание, что роботизация производства позволяет уменьшить количество персонала, который высвобождается для выполнения более ответственных мероприятий, противоположных по направлению созидательным. Роботизированное производство характеризуется упрощенным переходом на сварку деталей другого размера.

1.4 Анализ источников научно-технической информации по рассматриваемому вопросу

Для обеспечения эффективности технологии изготовления сварных элементов трубопровода следует применять научно-обоснованные методы, требующие проведения изыскательских работ в двух направлениях. Первое направление предусматривает расширение технологических возможностей традиционных способов сварки. Второе направление предусматривает поиск и расширение области применения перспективных новых способов и применения эффективных средств повышения производительности за счёт автоматизации и роботизации производства. Для достижения поставленной цели предстоит «решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности сварочных процессов. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Эффективный поиск может быть проведен при использовании таких информационных систем» [10], как «Диссеркет» (содержит значительное количество кандидатских и докторских диссертаций, защищенных по техническим наукам в Российской Федерации), «Киберленинка» (содержит значительное количество публикаций по техническим направлениям, позволяет вести поиск по типу публикации и рейтингу журнала), «ПатонПаблиш» (содержит значительное количество публикаций в области сварки, результаты исследований в Украине), «Е-Лайбрери» (российская база знаний, позволяет вести поиск по автору и названию журнала).

В ходе проведения исследований обнаружены показательные примеры положительного опыта роботизации сварочного производства при изготовлении элементов трубопровода с применением современных сварочных роботов и различных способов сварки, которые представлены на рисунке 9.

Однако, несмотря на значительное количество накопленного производственного опыта, в научных работах отечественных исследователей-сварщиков вопрос роботизированной сварки элементов трубопроводов освещен крайне слабо. Диссертации и патенты по этой теме в российской научной среде отсутствуют. Нами было найдено пять источников научно-технической информации, которые могут быть использованы при выполнении выпускной квалификационной работы.



Рисунок 9 – Примеры промышленного внедрения роботизированной сварки при изготовлении элементов трубопровода

В первой работе [16] «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» [16], 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).

Данна работа показывает необходимость внедрения роботизированной сварки и выполнения работ в области технологической адаптации роботизированной сварки, которая позволяет уменьшить требования к подготовке и сборке заготовок. Работа будет использована при построении проектной технологии роботизированной сварки и обосновании актуальности выполняемого исследования.

Во второй работе [9] «обобщен опыт применения автоматической сварки под флюсом при изготовлении элементов трубопровода. Сформулированы недостатки автоматической сварки под флюсом» [9], которые в настоящий момент до конца не устранены и ограничивают применение этого способа для изготовления элементов трубопровода. В качестве радикальной меры, позволяющей устранить рассматриваемые затруднения, предложено применять автоматическую и роботизированную сварку в защитных газах. Также предлагается «применять комбинированную сварку, при которой корневой слой шва выполняется с применением механизированной сварки в защитных газах и ручной дуговой сварки, а заполнение разделки и облицовочный шов выполняются с применением автоматической сварки под флюсом. При этом толщина корневого слоя шва должна составлять не менее 6 мм, что позволяет избежать прожогов при последующей сварке под флюсом» [9].

Данная работа будет использована для построения проектной технологии сварки и для обоснования выбора способа сварки при построении роботизированного производства элементов трубопровода.

В третьей работе [20] основании проведенного литературного исследования и анализа современного состояния производства для построения роботизированных комплексов сварки элементов трубопроводов с малой серийностью и построения опытного производства рекомендуется применение универсальных сборочных приспособлений. Для организации

роботизированного производства с массовой программой предлагается применение специализированных приспособлений. Также в работе сформулированы недостатки традиционного производства элементов трубопровода и показано, как эти недостатки устраняются при обеспечении роботизированной сварки. На основании опыта построения роботизированного производства представлены типовые схемы технологического процесса и функциональные схемы построения роботизированных комплексов.

Данная работа будет использована для обоснования актуальности проводимых исследований и построения проектной технологии роботизированной сварки элементов трубопровода.

В четвёртой работе [10] «показано, что внедрение роботизированной сварки элементов трубопроводов позволяет устранить критические недостатки традиционного производства, использующего ручную дуговую сварку. Наиболее перспективным следует признать сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с импульсным управлением переносом электродного металла» [10]. При этом трудоемкость снижается на 80 %, производительность труда повышается на 40 %, технологическая себестоимость снижается на 70 %.

Данная работа будет использована при обосновании актуальности выбранного направления исследований и выполнении оценочного раздела выпускной квалификационной работы.

В пятой работе [13] «исследовано влияние параметров импульсного управления питанием сварочной дуги на качество сварного соединения при изготовлении и ремонте металлических конструкций из низкоуглеродистых сталей. Исследовался процесс механизированной сварки в углекислом газе проволокой сплошного сечения. Применение систем импульсного управления с обратной связью по току позволяет повысить стабильность качества сварки, уменьшить разбрызгивание электродного металла и добиться пространственной стабильности сварочной дуги, что особенно важно при

выполнении монтажной сварки и проведении ремонта крупногабаритных металлических конструкций» [13].

Данная работа показывает эффективность применения импульсного управления при механизированной сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах. Работа будет рассмотрена для обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при изготовлении элементов трубопровода за счёт роботизации производства. Базовый процесс сборки и сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки с перспективой её замены на механизированную сварку в защитных газах. На основании анализа источников научно-технической информации доказана перспективность применения средств роботизации, которые позволят снизить трудоемкость и стоимость, повысить производительность и качество работ. Применение роботизированной сварки должно предусматривать использование современных достижений в области управления сварочными процессами и применение перспективных высокопроизводительных способов сварки. На основании проведенного анализа состояния вопроса и исходных данных могут быть сформулированы задачи, решение которых позволяет достигнуть поставленной цели.

Первая задача заключается в обосновании выбора способа сварки, который будет использован для составления проектной технологии сборки и сварки.

Вторая задача заключается в построении роботизированного комплекса для сборки и сварки типовых деталей трубопровода, в ходе решения этой задачи предстоит выполнить планировку роботизированного комплекса и выбрать технологическое оборудование.

Третья задача заключается в построении проектного технологического процесса, в ходе решения которой предстоит составить перечень операций, назначить параметры режима и технические условия выполнения операций.

После исполнительского раздела, в котором следует привести описание решения сформулированных задач, следует два оценочных раздела, в ходе выполнения которых необходимо помимо технического эффекта, полученного во втором разделе, доказать возможность внедрения предлагаемых решений в производство.

Во-первых, предстоит рассмотреть вопрос обеспечения безопасности труда и экологической безопасности сварочного производства [1], [5]. Таким образом, при выполнении этого раздела будет доказана возможность реализации предлагаемых решений в современном производстве с соблюдением требуемых условий безопасности труда, экологической безопасности и противопожарной безопасности.

Также предлагаемые технологические решения должны получить экономическое обоснование, для чего предстоит выполнить сравнение экономических показателей базовой и проектной технологий изготовления [14], [15]. Таким образом, будет доказана возможность внедрения в современное производство предлагаемых решений с точки зрения экономической целесообразности.

После выполнения разделов выпускной квалификационной работы следует подготовить заключение, предусматривающее общую формулировку рассматриваемой проблемы и поставленной цели, результаты и анализ решений поставленных задач, анализ результатов выполнения оценочных блоков, доказательство достижения поставленной цели. Кроме того, в заключении следует привести пути внедрения полученных результатов в производство и обозначить направление дальнейших исследований при подготовке магистерской диссертации, которую предстоит подготовить при последующем обучении на кафедре сварки.

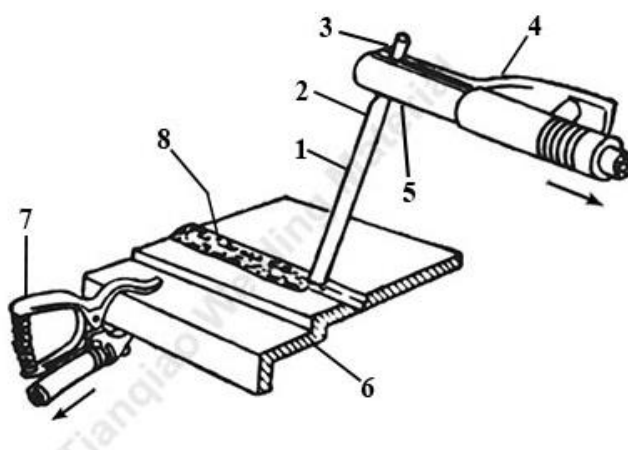
2 Проектная технология роботизированной сварки элементов трубопровода

2.1 Обоснование выбора способа сварки

«Для повышения экономических показателей производства при построении проектной технологии сварки необходимо изначально закладывать наиболее производительные и прогрессивные способы сварки» [2], позволяющие не толькократно улучшить характеристики производства, но и обеспечат дальнейшее его развитие за счёт имеющегося резерва повышения эффективности [2], [7]. При выборе способа сварки конструкций из аустенитных сталей необходимо руководствоваться необходимостью снижения погонной энергии, что позволяет обеспечить оптимальную структуру наплавленного металла и околошовной зоны, повысить эксплуатационные свойства изделия. При этом предпочтение следует отдавать источникам нагрева, характеризующимся высокой концентрацией энергии, что позволяет при высокой производительности сварки обеспечить оптимальный термический цикл металла сварного шва. Проведенный ранее предварительный анализ источников научно-технической информации позволил «выделить для дальнейшего рассмотрения следующие способы сварки: ручная дуговая сварка штучными электродами, которая применяется при реализации базовой технологии сборки и сварки изделия; механизированная сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, которая рассматривалась как альтернатива замены способа по базовой технологии» [9]. Также следует рассмотреть такой способ сварки, как аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, позволяющий получать высокое качество сварных швов при выполнении конструкций ответственного назначения. Повышение производительности сварки может быть получено при использовании автоматизированной и механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой, информация о которой в

значительном количестве присутствует в сети интернет, особенно в работах украинских исследователей-сварщиков. Также следует рассмотреть автоматическую сварку под флюсом, которая а настоящее время применяется не только для выполнения прямолинейных швов, но и для выполнения швов сложной пространственной ориентации, в том числе, и при роботизированной сварке.

На рисунке 10 представлена схема выполнения ручной дуговой сварки, которая применяется в базовой технологии. С точки зрения построения технологических процессов сварки при изготовлении и ремонте деталей машин применение ручной дуговой сварки обосновано по ряду причин. Во-первых, для реализации такого «технологического процессе нет необходимости приобретения дополнительного сварочного оборудования и переобучения персонала, так как необходимое кадровое и материальное обеспечение уже имеется на действующем сварочном производстве. Во-вторых, процесс ручной дуговой сварки характеризуется высокой универсальностью» [8] и может быть осуществлен во всех пространственных положениях. За счёт приобретения электродов со специальным покрытием и составом возможно построение технологии сварки изделий из различных материалов, что расширяет технологические возможности способа сварки.



1 – электродный стержень, 2 – защитная обмазка электрода, 3 – конец электрода,
4 – держатель электрода, 5 – зажимы держателя, 6 – свариваемое изделие, 7 – токоподвод,
8 – сварной шов

Рисунок 10- Схема выполнения ручной дуговой сварки

Ручная дуговая сварка характеризуется рядом недостатков, которые в условиях современного производства могут иметь критический характер и заставлять «рассматривать альтернативные способы сварки при построении проектной технологии сборки и сварки. Первым недостатком является малая производительность сварки, которая проистекает из целого комплекса причин, перечисленных ниже. Вторым недостатком является необходимость работы сварщика во вредных условиях испарения и ультрафиолетового излучения от сварочной дуги. Третьим недостатком является сильная зависимость качества от квалификации сварщика, что заставляет повышать затрат предприятия на поиск и повышение квалификации персонала. Четвертым недостатком является потеря электродов на угар, разбрызгивание и огарки, что усугубляется высокой стоимостью самих сварочных электродов» [8]. Повышение эффективности ручной дуговой сварки за счёт оптимизации параметров режима сварки в настоящее время выполнено быть не может, так как для этого способа сварки уже найдены оптимальные параметры режима для различных материалов, толщин и положений [8]. Некоторое расширение технологических возможностей ручной дуговой сварки возможно за счёт применения электродов со специальным покрытием [18], но это существенно повышает стоимость электродов и не позволяет устранить основные недостатки ручной дуговой сварки.

В настоящее время для «выполнения сварных швов со сложной конфигурацией может применяться автоматическая сварка под флюсом, которая характеризуется самой высокой производительностью из рассматриваемых способов сварки. Схема выполнения автоматической сварки под флюсом представлена» [21] на рисунке 11. Применение автоматической сварки под флюсом позволяет успешно бороться с разбрызгиванием электродного металла и вредным излучением дуги. Также следует отметить высокое качество сварного шва и легкую отделимость шлаковой корки. Основным недостатком сварки под флюсом следует считать перегрев основного металла, который может оказаться критическим при выполнении

сварных конструкций из аустенитных сталей. Кроме того, до конца не решен вопрос просыпания флюса при выполнении кольцевых швов, так как в этом случае предстоит значительно усложнить конструкцию сварочного приспособления, чтобы получить возможность вращения изделия и сварки в нижнем положении.

Самым высоким качеством из рассматриваемых способ сварки характеризуется аргонодуговая сварка неплавящимся электродом, схема выполнения которой представлена на рисунке 12.

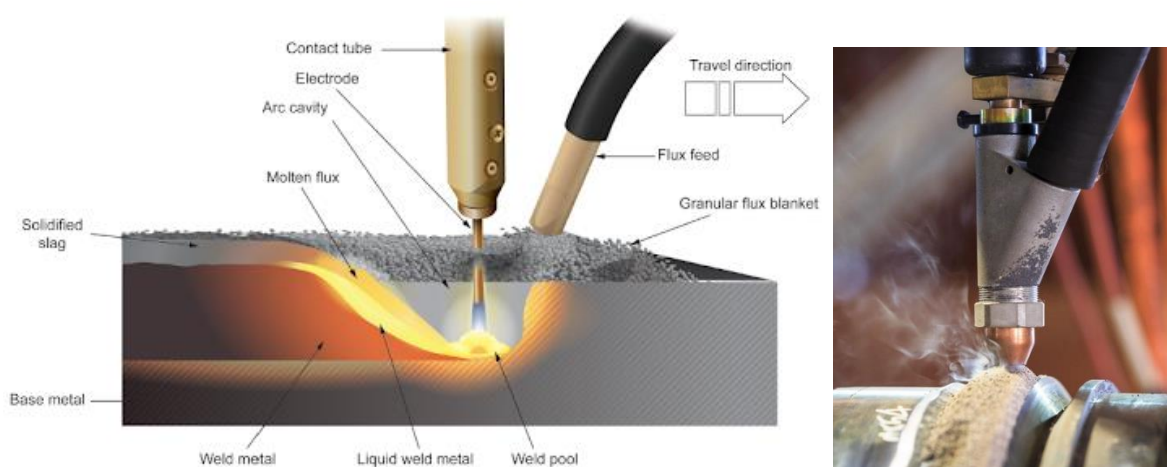


Рисунок 11 – Схема автоматической сварки под флюсом

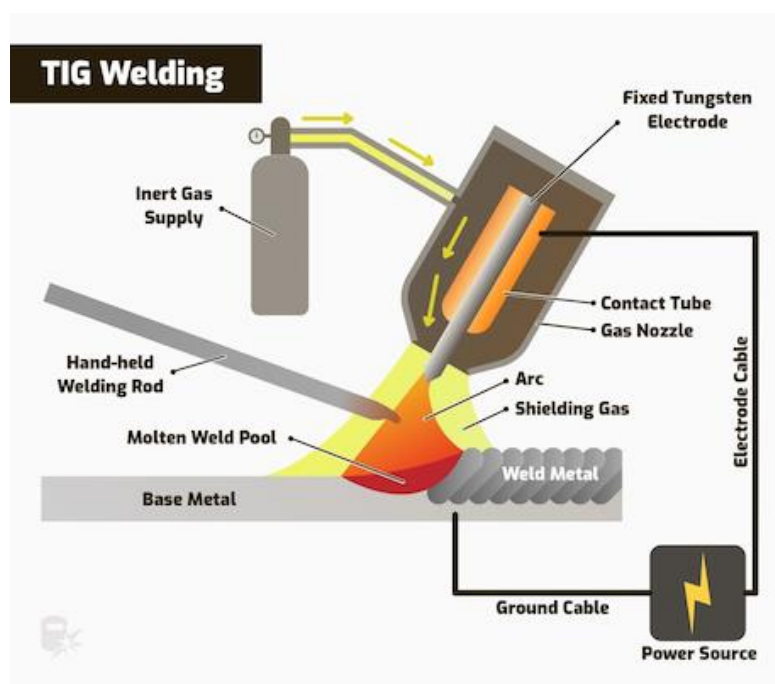


Рисунок 12 – Схема аргонодуговой сварки неплавящимся электродом

Высокие показатели качества сварного соединения позволяют обеспечить сварку корневого слоя шва с практически полным отсутствием дефектности. Поэтому аргонодуговую сварку применяют при изготовлении ответственных конструкций как в виде отдельного способа, так и в составе «комбинированного способа сварки, когда корневой слой выполняется аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом, а заполнение разделки – другим способом сварки с большей производительностью. По сравнению с ручной дуговой сваркой рассматриваемый способ обеспечивает многократное повышение качества и внешнего вида сварного соединения» [21], улучшает условия труда сварщика, значительно улучшает эксплуатационные характеристики изделия. Однако следует отметить значительное снижение производительности аргонодуговой сварки неплавящимся электродом по сравнению с другими способами сварки. Кроме того, для осуществления способа требует привлечение сварщиков высокой квалификации и приобретение дорогостоящего оборудования.

Наиболее «перспективным и универсальным способом сварки, который может быть применен как в ручном режиме, так и при роботизированной сварке, является сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения» [21], схема выполнения которой представлена на рисунке 13.

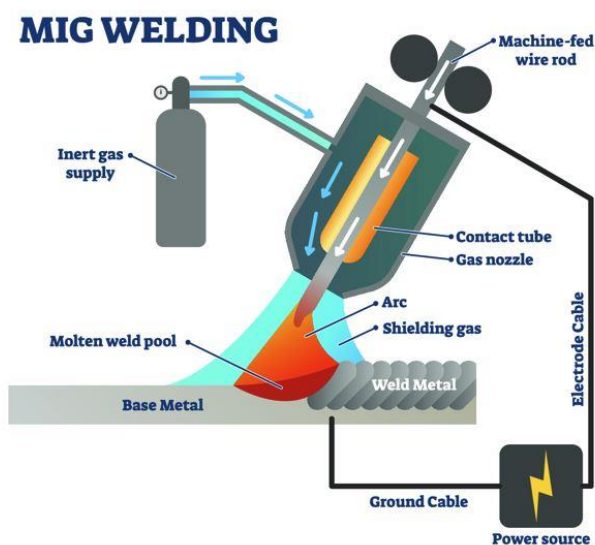


Рисунок 13 – Схема сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

При построении «технологии сварки с применением сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения приходится считаться с таким недостатками способа, как повышенное разбрызгивание, которое наиболее сильно начинает проявляться при применении высокопроизводительных режимов сварки» [21], что существенно ограничивает скорость выполнения сварочных работ и ухудшает условия труда. Кроме того, при выполнении конструкций из аустенитной стали следует обеспечить гладкую поверхность изделия, что заставляет прибегать к дополнительным операциям по очистке поверхности детали от брызг расплавленного металла. Также следует принимать во внимание, что низкая растекаемость расплавленного металла, которой характеризуется сварка в защитных газах, играет двоякую роль. С одной стороны, она позволяет вести сварку в различных пространственных положениях, с другой стороны, «может послужить причиной образования наплавов и трещин при сварке. Повышение эффективности сварки в защитных газах достигается за счёт применения разработок в области импульсного управления переносом электродного металла» [11], которые позволяют повысить эффективное КПД сварки, устранить разбрызгивание и пористость, получить оптимальную структуру металла сварного шва [11], [19].

Значительные успехи достигнуты в области применения порошковых самозащитных проволок при изготовлении сварных конструкций ответственного назначения. Схема сварки с применением порошковой проволоки представлена на рисунке 14. На промышленных предприятиях многолетним производственным опытом доказаны широкие возможности применения этого способа сварки, который сочетает в себе производительность и универсальность ручной дуговой сварки и сварки под флюсом, а также качество и хорошие условия труда сварщика при использовании сварки в защитных газах. Кроме того, сварка аустенитных сталей с применением проволоки сплошного сечения затрудняется по причине необходимости изготовления проволоки соответствующего состава. В тоже время, производство порошковой проволоки обладает более широкими

возможностями по регулированию состава проволоки, так как легирование происходит за счёт сыпучей шихты. Таким образом, состав проволоки может изменяться в широких пределах без изменения самой технологии изготовления порошковой проволоки.

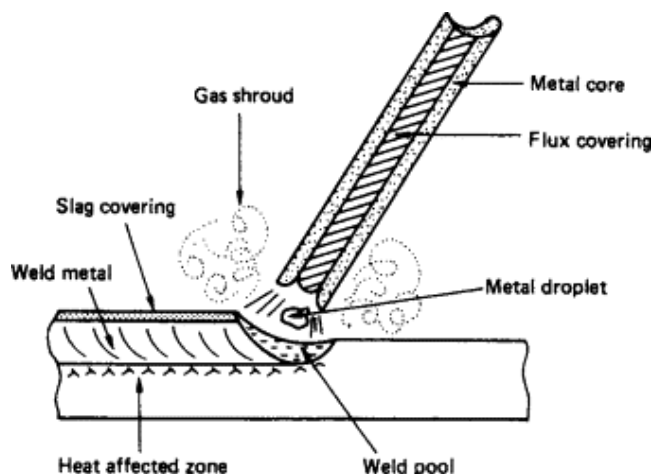


Рисунок 14 – Схема сварки порошковой самозащитной проволокой

Следует указать недостатки применения порошковой проволоки, из-за которых этот перспективный способ сварки не получил должного распространения на производстве. «Первым недостатком является высокая сложность изготовления порошковой проволоки, которое достаточно сложно осваивается отечественными производителями сварочных материалов. Вторым недостатком является высокая пластичность проволоки, что приводит к её заломам при движении по подающему механизму. Третьим недостатком является высокая текучесть расплавленного шлака» [21], что становится причиной засорения металла сварочного шва. Кроме того, при плавлении проволоки часть шлака может не расплавляться и просыпаться в сварочную ванну, что вызовет образование пористости и шлаковых включений в сварном шве.

На основании вышеизложенного для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

2.2 Сварочное оборудование

Для питания сварочной дуги в соответствии с выбранным способом сварки предлагается применить представленный на рисунке источник Artsen Plus Megmeet 350D, представленный на рисунке 15, который оснащается механизмом подачи проволоки повышенной стабильности и может быть применен как для механизированной, так и для роботизированной сварки. На рисунке 16 представлен промышленный робот, укомплектованный источником питания и механизмом подачи проволоки, который позволяет выполнять сварку в автоматическом режиме.



Рисунок 15 – Источник питания Artsen Plus Megmeet 350D



Рисунок 16 – Комплектация сварочного робота

Для обеспечения роботизированной сварки предлагается использовать сварочное оборудование, которое изготавливается Китайской Народной республике – стране с дружественным нам режимом. Поставки оборудования в Российскую Федерацию выполняются ООО «МегмитВелдинг», производителем оборудования является китайский бренд MEGMEET. Источник питания Artsen Plus Megmeet оснащен запатентованной системой импульсного управления «Tranquil Fusion» переносом электродного металла, которое позволяет устранить разбрызгивание при переходе на форсированные режимы сварки. Кроме того, применение импульсного управления позволяет повысить эффективное КПД сварки за счет изменения теплового баланса и уменьшить погонную энергию, что особенно важно при сварке аустенитных сталей. Импульсный характер горения дуги позволяет получить пространственную стабильность горения дуги во всех положениях, что обеспечивает отсутствие прерывания сварочного процесса. Кроме того, импульсное воздействие дуги на расплавленный металл сварочной ванны обеспечивает своевременное удаление из неё растворенных газов, что существенно снижает пористость сварного шва. Также следует отметить благоприятные изменения структуры металла сварного шва при импульсном управлении горением дуги.

Для выполнения вспомогательных операций предлагается применить представленный на рисунке 17 промышленный робот M-710 iB/45-iAW, который для расширения технологических возможностей оснащен системой машинного зрения и универсальным схватом детали. Этот робот предлагается применить для выполнения автоматической загрузки заготовок перед сваркой и выгрузки готового изделия после сварки. Максимальный вылет робота составляет 1667 мм, это делает возможным получение рабочей зоны необходимого размера, в которой имеется возможность выполнения всех основных и вспомогательных операций.

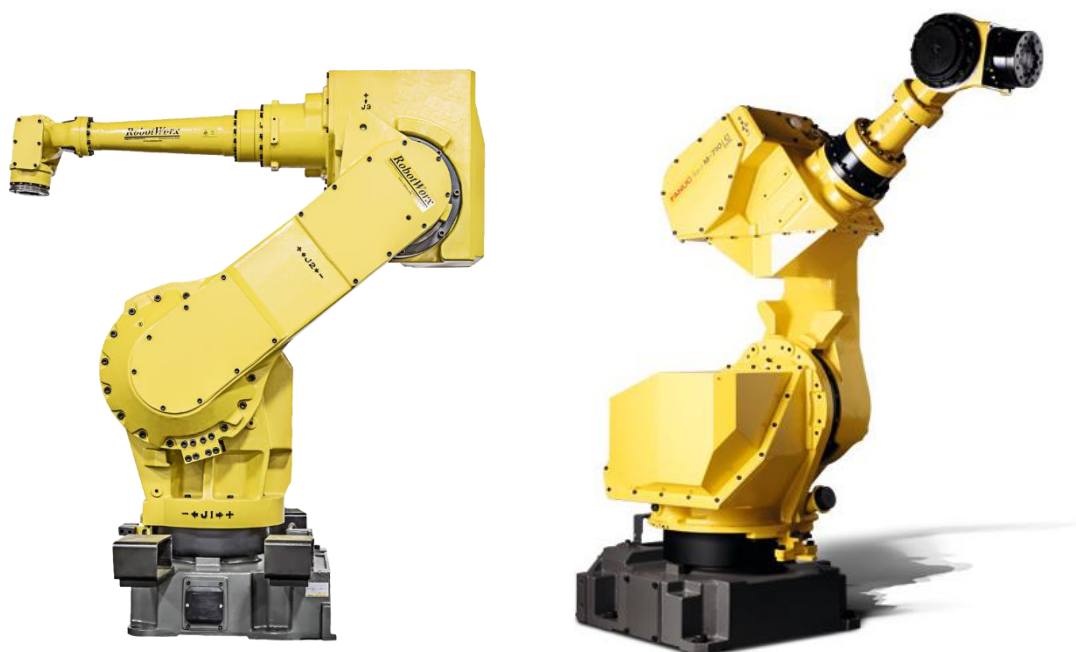


Рисунок 17 – Вспомогательный робот M-710 iB/45-iAW

Для выполнения сварочных операций предлагается применить сварочный робот AM-120iB, представленный на рисунке 18. Данный робот может быть применен как для сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, так и для выполнения сварки неплавящимся электродом. Точность позиционирования сварочной горелки 0,08 мм и система контурного управления позволяют выполнять дуговую сварку ответственных изделий.



Рисунок 18 – Сварочный робот AM-120iB

Для позиционирования деталей в процессе сварки предлагается применить представленный на рисунке 19 сварочный манипулятор. Конструкция рассматриваемой детали имеет сварной шов с изгибом 90 градусов, поэтому для обеспечения оптимального положения сварочной горелки предлагается применить программируемый манипулятор. Точность позиционирования такого манипулятора составляет 0,25 мм. Номинальная грузоподъемность составляет 700 кг и позволяет свободно перемещать изделие вместе с фиксирующей оснасткой.

На рисунке 20 представлен комплекс для роботизированной сварки, позволяющий выполнять сварку типовых элементов трубопровода.

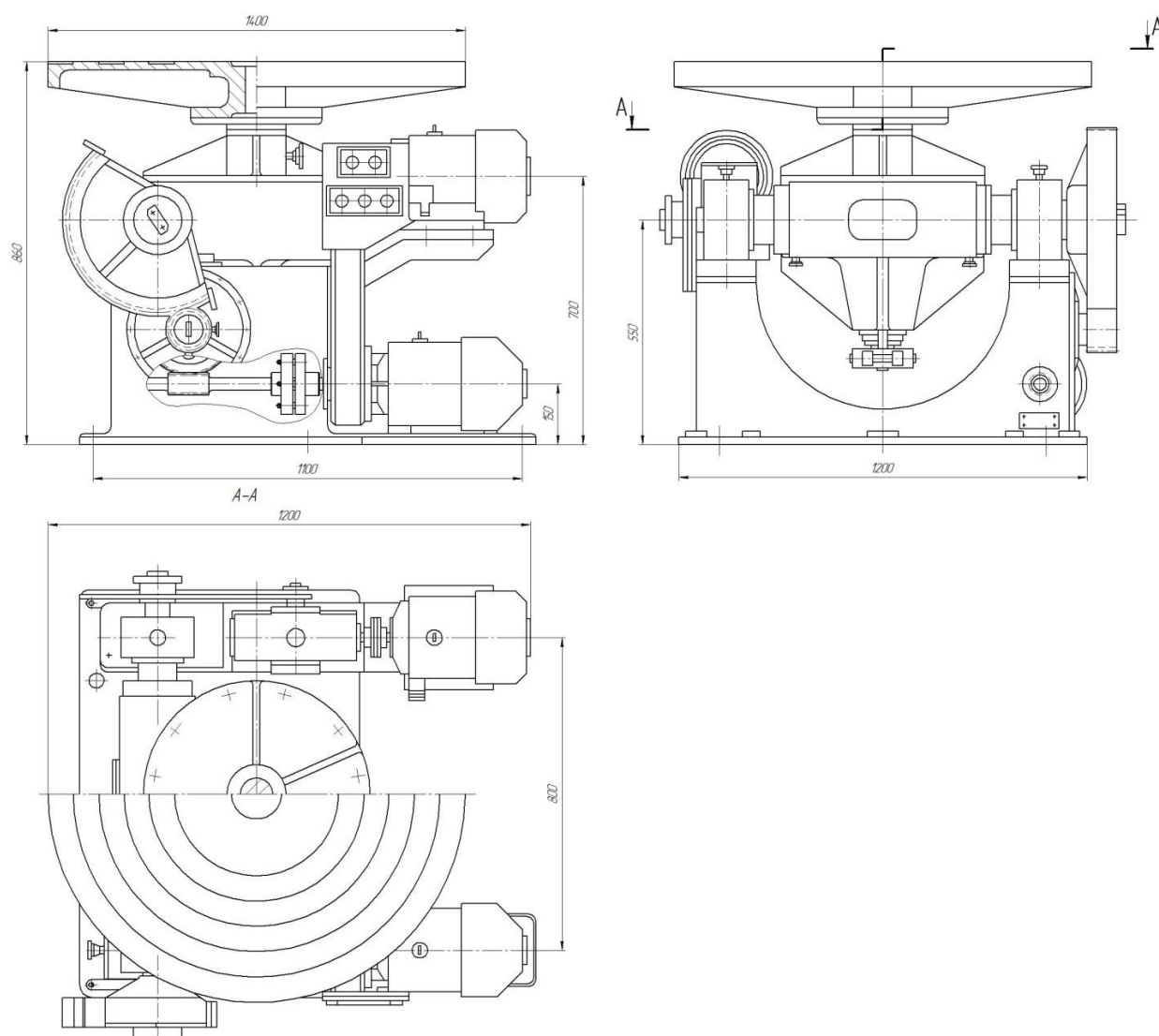
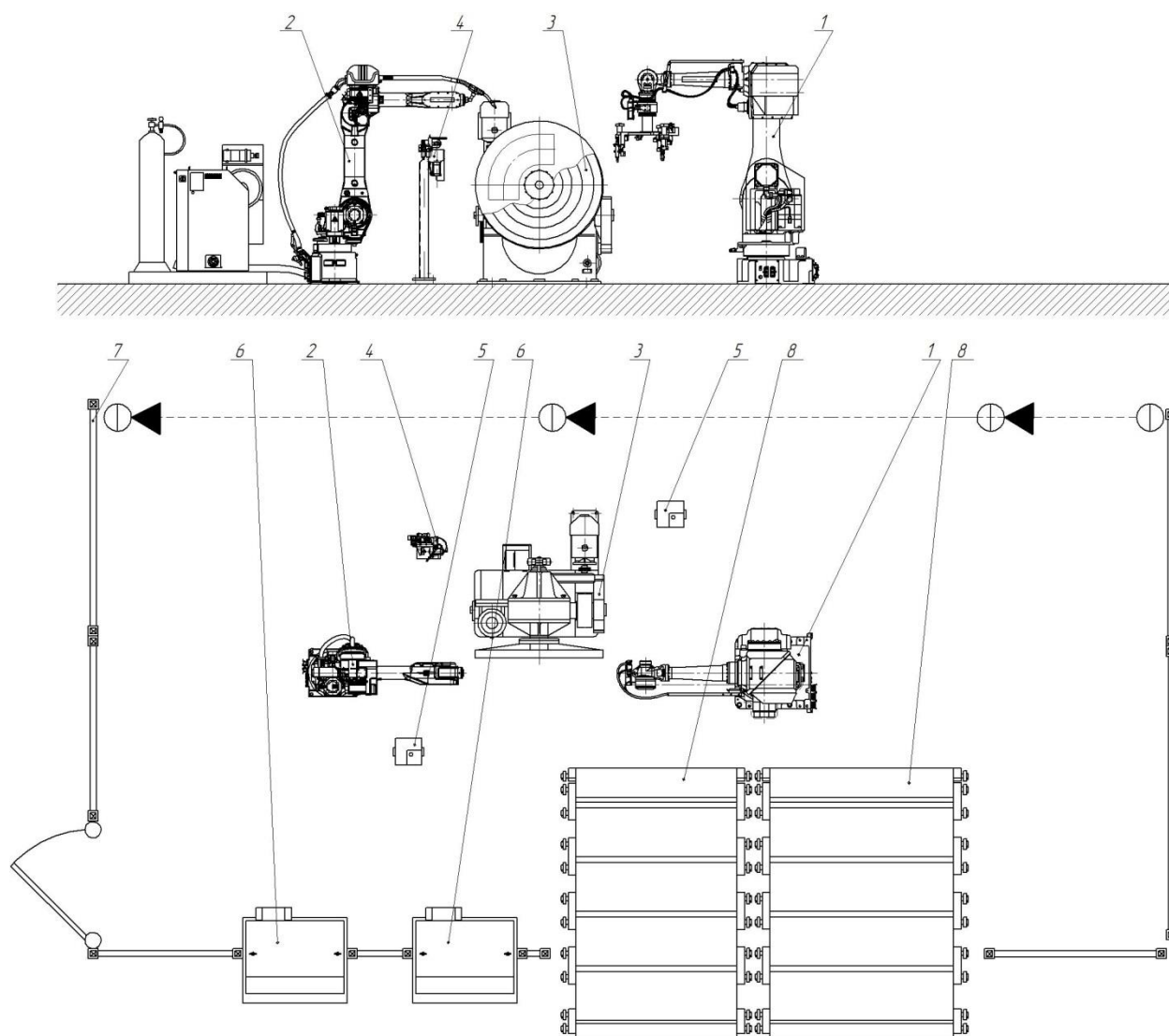


Рисунок 19 – Сварочный манипулятор



1 – робот М-710iВ с оснасткой для схвата деталей; 2 – робот АМ-120iВ с оснасткой для дуговой сварки; 3 – узел разворота оснастки; 4 – стойка обслуживания сварочной горелки; 5 – стойка концевых выключателей; 6 – шкаф управления роботом; 7 – ограда; 8 – транспортёр-накопитель

Рисунок 20 – Комплекс для роботизированной сварки

Так как в предлагаемом к построению сварочном комплексе применяется вспомогательный робот, который исключает взаимодействие оператора со сварочным роботом при закладке деталей и выемке изделия, то безопасность и производительность существенно повышаются. Для предотвращения несанкционированного попадания на территорию комплекса он окружен оградой с концевыми выключателями, обеспечивающими подачи сигнала на аварийный останов комплекса при попадании внутрь него человека.

2.3 Проектная технология сварки

Разделение листового проката происходит с применением представленных на рисунке 21 гильотинных ножниц с наклонным ножом НЛК3116. Резка заготовок по траектории выполняется с применением представленной на рисунке 22 установке плазменной резки «Сибирь».



Рисунок 21 - Гильотинные ножницы НЛК3116

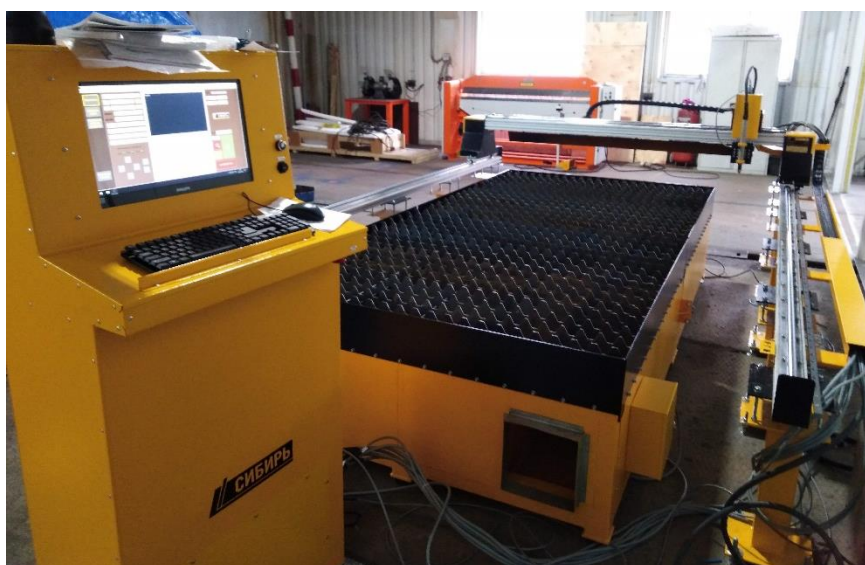


Рисунок 22 – Установка плазменной резки «Сибирь»

Далее после того, как были приготовлены все заготовки, последовательно выполняют ряд операций. Внутри производства с применением внутрицехового транспорта, заготовки со склада поступают на участок сборки и сварки. Перед сборкой их следует зачистить до металлического блеска по всей длине сварных швов на ширину 20...25 мм. Далее выполняют обезжиривание торцев и прилегающих поверхностей с применением жидкости «Нефрос-С» или уайт-спирита, после чего выполняют просушку поверхности заготовок сжатым воздухом. После подготовки поверхности заготовки могут пролеживать не более 30 минут, если время пролеживания превышено, обезжиривание следует повторить.

Для выполнения сварки и прихватки применяется сварочная проволока диаметром 1,2 мм Св-06Х19Н9Т. В качестве защитного газа предлагается применить защитную смесь $Ar+CO_2+O_2$. Сварку ведут на токе 180...250 А при напряжении на дуге 20...25 В. Расход защитного газа составляет 9...12 литров в минуту.

С применением универсального сборочного приспособления выполняют сборку и прихватку деталей. Точность сборочных операций составляет 0,5 мм. Длина прихватки составляет порядка 60...70 мм при расстоянии между прихватками 250...350 мм. таким образом, на один сварной шов, продольный или кольцевой, приходится не менее трех прихваток. Высота прихватки должна быть 3...4 мм. К прихваткам предъявляются такие же требования по качеству, как и к корню сварного шва, при обнаружении в ходе визуального контроля недопустимых дефектов прихватки срезают и переваривают.

Сварку следует вести на минимальной длине дуги, что обеспечивает снижение выгорания легирующих элементов. При прерывании сварки кратеры выводить на основной металл не допускается, зажигание и гашение дуги следует выполнять на кромках или на наплавленном металле с тщательным заправлением кратера и его проверки на отсутствие кратерной трещины.

После выполнения прихваток и проверки качества следует провести зачистку поверхности деталей брызг, далее выполняют заполнение разделки. Возбуждение и гашение сварочной дуги следует выполнять на наплавленном металле с отступом от конца сварного шва на 15...20 мм, при этом кратер следует тщательно заплавлять. При сварке следует контролировать температуру основного металла, которая на расстоянии 40 мм от сварного шва не должна превышать 100 °С. В противном случае следует применить принудительное охлаждение.

После выполнения сварки и остывания сварного шва следует выполнить очистку поверхности деталей от брызг расплавленного металла. Далее проводят визуальный контроль качества. В ходе проведения визуального контроля не допускается грубая чешуйчатость сварного шва, наплывы и подрезы более 0,5 мм. Не допускаются трещины всех видов и направлений, выходящие на поверхность поры размером более 2 мм, занижение сварного шва. Если обнаружен недопустимый дефект, дефектное место вырубают и переваривают. К следующим методам контроля приступают только после положительного решения по результатам визуального контроля.

После проведения визуального контроля проводят проверку качества ультразвуковыми методами с применением ультразвукового дефектоскопа UCD-50. Объем контроля ультразвуковыми методами составляет 30 %. В основном для контроля следует выбирать места с подозрением на наличие недопустимых дефектов.

После проведения ультразвукового контроля проводят гидравлические испытания с избыточным давлением 3 МПа в течение 10 минут. За это время на поверхности детали не должно наблюдаться образования натеков и запотевания.

В случае обнаружения недопустимых дефектов дефектное место следует вырубить и переварить. Разрешается не более двух переварок дефектного места.

Выводы по второму разделу

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при изготовлении деталей трубопровода. Настоящий раздел содержит описание решений задач, которые ранее были поставлены в ходе работы над аналитическим (первым) разделом выпускной квалификационной работы. В ходе решения первой задачи на основании экспертной оценки альтернативных способов сварки для построения проектной технологии предложено применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, которую можно вести как в механизированном режиме (при сборке и прихватке деталей), так и в автоматическом режиме (в настоящей выпускной квалификационной работе предлагается использовать роботизированную сварку). В ходе решения второй задачи составлена планировка роботизированного технологического комплекса, который позволяет выполнять сварку типовых деталей трубопровода, при этом переход на сварку деталей изменённой конструкции не сопровождается значительными издержками. В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология сварки на примере отвода диаметром 426 мм и толщиной стенки 12 мм. Сборку и прихватку предлагается вести с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, выполнение сварных швов предлагается вести на роботизированном технологическом комплексе, разработанном в ходе решения второй задачи. Дальнейшие работы по достижению поставленной цели предусматривают выполнение двух оценочных разделов. В первом оценочном разделе предстоит идентифицировать негативные производственные факторы, сопровождающие реализацию проектной технологии и предложить средства их нейтрализации. Также необходимо рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности производства. Во втором оценочном разделе предстоит обосновать экономическую эффективность предлагаемых в настоящей работе решений.

3 Производственные и экологические риски при реализации проектной технологии

3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений

В ходе выполнения настоящей выпускной квалификационной работы составлена проектная технология и выполнена планировка роботизированного комплекса для сборки и сварки элементов трубопровода. В ходе выполнения работы базовая технология, предусматривающая применение ручной дуговой сварки, заменена на прихватку с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и роботизированную сварку в защитных газах. При выполнении экологического раздела выпускной квалификационной работы предстоит составить перечень негативных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектного технологического процесса, которые могут оказать отрицательное влияние на персонал предприятия и окружающую среду. Далее для идентифицированных негативных производственных факторов следует предложить меры по их эффективной нейтрализации. Помимо этого, предстоит рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности производства, это объясняется тем, что процессы сварки и наплавки с точки зрения возникновения пожара характеризуются повышенной опасностью. Также в данном разделе следует коснуться вопросов обеспечения экологической безопасности разрабатываемого производственного участка. В таблице 3 представлены особенности реализации проектного технологического процесса, которые позволяют выявить производственные объекты и участников, которые могут подвергнуться действию негативных производственных факторов. Данные для заполнения таблицы выбираются исходя из составленного в предыдущем разделе проектного технологического процесса.

Таблица 2 – Особенности реализации проектного технологического процесса

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Резка	Слесарь-инструментальщик	Дисковые ножницы, фрезерный станок, кран-балка	Ножи
Гибка заготовок	Слесарь-инструментальщик	Пресс однокривошипный	-
Сборка	Слесарь-сборщик, наладчик роботов	Узел разворота оснастки; манипулятор M-710iB; система объёмного видения I-21i; схват механический; кондуктор сборочный	-
Сварка	Слесарь-сборщик, наладчик роботов	Кондуктор сборочный; манипулятор AM-120iB; установка OrigoMIG 240	Сварочная проволока Св-06X19H9T $\varnothing$ 1,2 мм; Смесь газов Ar+CO+O ₂
Сверление	Слесарь-инструментальщик	Горизонтально-сверлильный станок	Сверло P6M5
Контроль качества	Слесарь-сборщик, дефектоскопист	Лупа х4, ультразвуковой дефектоскоп, испытательный стенд	Рукавицы х/б, масло, вода техническая» [9]

На основании представленных в таблице 3 данных может быть проведена идентификация возникающих в процессе реализации проектной технологии негативных производственных факторов.

3.2 Профессиональные риски

Опасный фактор характеризуется повышением вероятности для персонала получить травму или даже погибнуть, действие опасных производственных факторов приводит к травматизму технологических процессов. Вредный производственный фактор при длительном воздействии на персонал вызывает у него ухудшение самочувствия и возникновение профессиональных заболеваний. В таблице 4 представлена информация о возникающих в ходе реализации проектной технологии опасных и вредных производственных факторах.

Таблица 4 – Негативные производственные факторы проектной технологии

Операция	Негативный фактор
«Резка (Дисковые ножницы, фрезерный станок, кран- балка, острые края листов)	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений; - опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование; - повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны
Гибка заготовок (Пресс)	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений; - опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;
Сборка (Узел разворота оснастки; манипулятор М- 710iB; система объёмного видения I-21i; схват механический; кондуктор)	- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений; - опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование; - повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны
Сварка (Кондуктор сборочный; манипулятор AM-120iB; установка OrigoMIG 240)	- «наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений; - опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;
Контроль качества (Ультразвуковой дефектоскоп)» [9]	- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны; - нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых деталей до высоких температур - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации; - повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны; - брызги расплавленного металла - повышенный уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне; - наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев; - перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений» [5]

Приведенные в таблице 4 негативные производственные факторы могут ранее возникали на предприятии и могут быть нейтрализованы с применением имеющегося на производстве арсенала защитных средств. Источниками негативных производственных факторов выступает сварочное оборудование и непосредственно открыто горящая сварочная дуга.

3.3 Устранение профессиональных рисков

Негативные производственные факторы, выявленные ранее в ходе выполнения настоящего раздела выпускной квалификационной работы, требуют применения технических средств и организационных мероприятий, направленных на нейтрализацию опасного и вредного действия на персонал. В таблице 5 представлены предлагаемые средства по обеспечению производственной безопасности, реализация которых предусматривает применение стандартных средств и методик из арсенала современного промышленного предприятия.

При организации охраны труда особое внимание следует уделить трудовой дисциплине и соблюдению порядка на рабочем месте. Как показывает производственная практика, именно захламление рабочего места становится главной причиной травматизма, возникновения внештатных ситуаций и снижения качества выпускаемой продукции.

Также следует выделить организационные мероприятия (инструктаж и ролевые игры), которые позволяют поднять общий тонус работников и позитивно настроить их на выполнение обязанностей с соблюдением требований техники безопасности.

Представленный перечень опасных и вредных производственных факторов является стандартным набором, сопровождающим реализацию технологических процессов на современном предприятии, нейтрализация которого не должна встретить значительных затруднений.

Таблица 5 – Средства и мероприятия по обеспечению безопасности труда

«Негативный фактор	Техническое решение	Средства защиты
острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	проведение инструктажа по технике безопасности; ролевые игры с работниками предприятия; предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	предупреждающие плакаты и таблички; защитное отключение приводов оборудования; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	общеобменная вентиляция; устройства удаления загрязненного воздуха	Применение индивидуальных средств защиты органов дыхания
повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	проверка изоляции и заземления; проведение инструктажа по технике безопасности; ролевые игры с работниками предприятия	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	проведение инструктажа по технике безопасности; предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, перчатками
инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	защитные экраны; проведение инструктажа по технике безопасности; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками
ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	защитные экраны; проведение инструктажа по технике безопасности; ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками» [5]

Разработка специальных технических средств и методик для обеспечения безопасности труда не требуется.

3.4 Пожарная безопасность предприятия

При реализации технологических процессов с применением сварочных технологий возникает повышенная опасность пожаров на производственном участке. Источником опасности в данном случае становится открыто горящая сварочная дуга, имеющая высокую температуру, излучающая ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, приводящая к возникновению брызг расплавленного металла и нагреву кромок детали, от контакта с

которыми может произойти возгорание. Кроме того, для питания сварочной дуги применяется оборудование, требующее подвода электрической энергии, нарушение в работе силовой аппаратуры предприятия также становится причиной возникновения пожаров. В таблице 6 представлена информация по идентификации пожара, возникновение которого возможно на рассматриваемом производственном участке при неблагоприятном стечении обстоятельств. Как видно из представленных данных, пожар следует отнести к классу «Е», поскольку при его возникновении на всем этапе протекания и тушения сохраняется высокая опасность поражения электрическим током. В случае пожара люди могут подвергнуться потоку раскаленного воздуха, испытать снижение концентрации кислорода, подвергнуться инфракрасному излучению, действию открытого пламени, отравляющему действию продуктов горения. Также при пожаре ухудшается видимость и возможно обрушение конструкций, что препятствует эвакуации персонала и тушению пожара. В ходе пожара может происходить нарушение электрической изоляции, что может стать причиной травм. В таблице 7 представлен предлагаемый набор средств, направленных на обеспечение пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка.

Таблица 6 – Идентификация опасных факторов при пожаре

Участок	Участок сборки и сварки
«Наименование оборудования	Оборудование для подготовки, сборки и сварки, аппаратура контроля
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	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке» [5]

Таблица 7 – Средства тушения пожаров на производственном участке

«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	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели» [5]

Пожарная безопасность производственного участка обеспечивается стандартными средствами и технологическими мероприятиями.

3.5 Экологическая безопасность производственного участка

Современное производство характеризуется не только применением технических средств повышенной эффективности, но и ответственным отношением к окружающей среде, что позволяет сохранить природные ресурсы для будущих поколений. Сварочное производство характеризуется негативным действием на природные составляющие, к которым относятся гидросфера, литосфера и атмосфера. Для того, чтобы обеспечить защиту окружающей среды от негативного воздействия проектируемого производственного участка, предлагается предусмотреть проведение ряда мероприятий, особенности которых представлены в таблице 8. При организации работы на производственном участке особое внимание следует уделить селективному сбору мусора, которое не требует значительных капитальных вложений и применения сложных технических устройств, но

позволяет существенно уменьшить негативное действие предприятия на окружающую среду.

Таблица 8 – Защита природы от антропогенного действия предприятия

Наименование объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [5]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [5]
действие на литосферу	«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» [5]

Кроме того, селективный сбор мусора позволяет повысить культуру производства, что в конечном итоге положительно скажется на качестве выпускаемой продукции и условиях труда персонала. Помимо этого возможно снижение затрат предприятия из-за возможности рециклинга промышленных отходов.

Выводы по экологическому разделу

На основании рассмотренных особенностей реализации проектного технологического процесса выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов. Установлено, что нейтрализация негативных производственных факторов обеспечивается применением стандартных технических средств и методик из арсенала современного промышленного предприятия. Для защиты работников не требуется разработки специальных средств помимо предложенных в настоящем разделе стандартных решений. Также рассмотрен вопрос обеспечения пожарной безопасности производственного участка. В работе затронуты вопросы обеспечения экологической безопасности промышленного производства.

4 Экономическая эффективность предлагаемых решений

4.1 Вводные данные для экономического анализа

В настоящей выпускной квалификационной работе описаны мероприятия, направленные на повышение эффективности базовой технологии на примере сварки элементов технологических трубопроводов. Предыдущие разделы выпускной квалификационной работы содержат анализ исходных данных и предварительный анализ известных решений, постановку задач на выполнение работ приведены в аналитическом разделе. На основании критического анализа известных решений обоснован выбор наиболее эффективного способа сварки и его автоматизации. Также описываются решения, позволяющие расширить технологические возможности выбранного способа, приведено описание операций. Анализ возможности реализации предлагаемых решений с соблюдением современных требований по технике безопасности, проведения противопожарных мероприятий и обеспечения экологичности производственного участка выполнены в первом оценочном разделе. Настоящий раздел предназначен для обоснования целесообразности внедрения предлагаемых решений на предприятии, для чего необходимо провести сравнительный анализ экономических показателей вариантов. Количественные показатели (исходные данные), которые будут использованы в ходе выполнения экономических расчётов, представлены в таблице 9. «Значения коэффициентов, необходимых для расчётного определения показателей технологии, представлены в таблице 10. На основании представленных данных, показателей базовой и проектной технологии, предстоит оценить величину технологической, цеховой и заводской себестоимости в рассматриваемых вариантах, объем капитальных вложений и изменение экономических параметров с выходом на оценку годового экономического эффекта» [15].

Таблица 9 – Количественные показатели для экономического анализа

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение (базовый вариант)	Значение (проектный вариант)
«Стоимость оборудования	$C_{об}$	руб.	500 тыс.	4500 тыс.
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	12	20
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,70	0,85
Площадь под оборудование	S	m^2	100	100
Разряд работников	P	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$C_ч$	Р/час	200	200
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	$(P/m^2)/год$	2000	2000
Цена производственных площадей» [15]	$C_{пл}$	P/m^2	30000	30000

Таблица 10 – Значения коэффициентов для проведения расчётов

Показатель	Обозн.	Единицы измерения	Значение
«Коэффициент доплат к осн. заработной плате	$K_{осн}$	%	12
Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{доп}$	-	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,03
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{тз}$	%	5
Цена электрической энергии для предприятия	$C_{ээ}$	Р/ кВт	3,4
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$	%	3
	$K_{дем}$		5
Норма амортизации площади	$N_{а.пл.}$	%	5
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5
Коэффициент эффективности капит. вложений	E_n	-	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5
Коэффициент заводских расходов» [11]	$K_{зав}$	-	1,15

Основным отличием, определяющим эффективность проектной технологии по сравнению с базовым вариантом, является замена способа сварки с применением передовых достижений сварочной науки. Описываемые в исполнительском разделе решения обеспечивают повышение качества и производительности, что даже в условиях применения оборудования большей стоимости должно обеспечить получение экономического эффекта, значение которого будет рассчитано в ходе выполнения настоящего раздела.

4.2 Фонд времени работы оборудования

При расчете параметров, при помощи которых может быть оценена экономическая эффективность производства, в большинстве формул применяется значение эффективного фонда времени работы оборудования $F_э$. Этот параметр измеряется в часах и пропорционален количеству смен $K_{см}$ в одном рабочем дне, которое в зависимости от особенностей производства может составлять $K_{см}=1$ или $K_{см}=2$. Также на величину $F_э$ оказывает влияние принимаемое количество рабочих дней в году D_p , которое в настоящий момент принимается равным $D_p=277$. В году установлены праздничные дни, приходящиеся на невыходные дни недели, их «количество составляет $D_n=7$ дней. При этом в предшествующий день продолжительность рабочей смены уменьшается на величину $T_n=1$ час. В случае стандартного рабочего дня продолжительность рабочей смены устанавливается $T_{см}=8$ часов. Таким образом, F_n будет с учётом приведенной информации и исходных значений рассчитываться как» [15]

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_n \cdot T_n) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени $F_э$ отличается от номинального F_n в меньшую сторону, что объясняется возникновением в процессе работы производственного участка внештатных ситуаций и случаев нарушения трудовой дисциплины. Это характеризуется коэффициентом потерь рабочего времени, который для рассматриваемой технологии составляет $B = 7 \%$. С учётом этого

$$F_э = F_n(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Таким образом, расчёты проводим с величиной $F_э = 2054$ часов. Эта же величина «будет использована для расчётного определения экономических показателей при сопоставительном анализе рассматриваемых вариантов технологии» [15].

4.3 Штучное время и годовая программа

Для расчётного определения экономических показателей, характеризующих анализируемый технологический процесс, следует задаться штучным временем $t_{шт}$, которое затрачивается на изготовление или ремонт одного изделия. Для этого необходимо провести анализ особенностей выполнения операций в обоих рассматриваемых вариантах построения технологии, которые могут быть взяты из первого раздела (для базового варианта) и второго раздела (для проектного варианта). Главной составляющей штучного времени служит машинное время $t_{маш}$, значение которого определяется исходя из особенностей рассматриваемой технологии. Базовый вариант характеризуется $t_{маш}=5$ часов, проектный вариант характеризуется $t_{маш}=1,5$ часов. Также в состав штучного времени включено вспомогательное время $t_{всп}$ в размере 10 % от $t_{маш}$. В случае реализации базовой технологии $t_{всп}=0,5$ час, в случае реализации проектной технологии $t_{всп}=0,15$ часа. Приблизительно 5 % от $t_{маш}$ затрачивается на обслуживание рабочего места, что характеризуется переменной $t_{обсл}$. Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, принимается $t_{обсл}=0,25$ часа. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант технологии, следует принимать $t_{обсл}=0,075$ часа. Приблизительно 5 % от $t_{маш}$ затрачивается на личный отдых работника, что характеризуется переменной $t_{отд}$. Если на производственном участке реализуется базовый вариант технологии, следует принимать $t_{отд}=0,25$ часа. При реализации на производственном участке проектного варианта принимают $t_{отд}=0,075$ часа. Приблизительно 1% от $t_{маш}$ затрачивается работником на изучение и сдачу производственного задания, что характеризуется значением подготовительно-заключительного времени $t_{пз}$. В зависимости от реализуемого на производственном участке варианта технологии $t_{пз}=0,05$ часа для базового варианта и $t_{пз}=0,015$ часа для проектного варианта.

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

На основании исходных данных последующие расчёты проводим при $t_{шт}=9$ часов при базовом варианте. При проектном варианте последующие расчёты выполняем исходя из значения штучного времени $t_{шт}=2,5$ часа.

Годовая программа Π_r определяет количество изделий, которое предстоит выпустить в течение одного календарного года и определяет значения коэффициентов загрузки оборудования, который в дальнейшем будут использованы для расчётного определения экономических показателей базового и проектного вариантов. Величина годовой программы Π_r определяется с учётом ранее полученных значений F_3 и $t_{шт}$

$$\Pi_r = F_3 / t_{шт}. \quad (4)$$

«Таким образом, для базового варианта $\Pi_r = 2054/9 = 228$ изделий, для проектного варианта $\Pi_r = 2054/2,5 = 820$ изделия. Для обеспечения действительной потребности производства» [15] необходимо значение годовой программы $\Pi_r = 200$ изделий, которое и принимаем для обоих вариантов технологического процесса.

Для задания количества применяемых на производственном участке единиц технологического оборудования необходимо определить его расчётное значение $n_{расч}$, для чего в качестве исходных данных служат ранее полученные значения годовой программы Π_r , эффективного фонда времени F_3 и штучного времени $t_{шт}$. Также в расчётах применяется коэффициент выполнения нормы $K_{вн}$, его значение выбирается из таблицы исходных данных:

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

Для базового варианта $n_{расч} = 9 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$. Для проектного варианта $n_{расч} = 2,5 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,1$. Таким образом, для обоих рассматриваемых вариантов принимается количество оборудования $n=1$, поэтому определим коэффициент загрузки

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

При реализации базового варианта технологического процесса коэффициент загрузки оборудования составляет $K_3=0,4/1=0,4$. При реализации проектного варианта коэффициент загрузки оборудования составляет $K_3=0,1/1=0,1$.

4.4 Расчёт заводской себестоимости

Эффективность внедряемых в производство решений оценивается по изменению экономических показателей, в большинство из которых в качестве расчётного компонента входит заводская себестоимость $C_{\text{зав}}$, определяемая расчётным путем через технологическую себестоимость $C_{\text{тех}}$. Величина технологической себестоимости может быть рассчитана с учётом особенностей выполнения операций, входящих в рассматриваемые варианты технологического процесса.

Одной из составляющих технологической себестоимости является стоимость материалов M , для расчёта которой применяется упрощенная формула, в которую помимо цены C_m входят «нормы расхода N_p и коэффициента транспортно-заготовительных расходов, значение которого следует принимать из таблицы исходных данных принимается значение $K_{\text{ТЗ}}=1,05$ » [15]:

$$M = C_m \cdot N_p \cdot K_{\text{ТЗ}}. \quad (7)$$

Для принятых в настоящей работе исходных данных реализация базового технологического процесса предусматривает затраты на материалы в размере $M=(800 \cdot 1,5 + 900 \cdot 2,1) \cdot 1,05 = 3244$ рублей. В проектном технологическом процессе рассчитываемые затраты на материалы составляют $M=(800 \cdot 2,16 + 3000 \cdot 0,0468) \cdot 1,05 = 1961$ рублей.

Расходы предприятия на оплату труда характеризуются размером фонда заработной платы ФЗП, составе которого учитываются два слагаемых, размер которых расчётным путём определяется исходя из «штучного времени $t_{шт}$ и часовой тарифной ставки. Первое слагаемое - основная заработная плата $Z_{осн}$, второе слагаемое - дополнительная заработная плата $Z_{доп}$. Из таблицы исходных данных принимается значения коэффициентов доплат K_d и дополнительных доплат $K_{доп}$: $K_d=1,88$ и $K_{доп}=0,12$. Размер основной заработной платы $Z_{осн}$ используется» [15] в дальнейшем для определения цеховых и заводских затрат, с учётом исходных данных получаем

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

Реализация базового процесса предусматривает размер основной заработной платы $Z_{осн}=9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 3384$ рублей. Реализация проектного процесса предусматривает размер основной заработной платы составит $Z_{осн}=2,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 940$ рублей. Уменьшение размеров заработной основной платы, которое наблюдается при внедрении проектной технологии не сказывается отрицательным образом на доходах работников, так как проектная технология позволяет значительно повысить производительность труда и уменьшить трудоемкость, в результате чего, за единицу времени с меньшими затратами удастся произвести больше продукции, что позволяет в пересчете на календарные дни доходы работников увеличить за счёт выполнения дополнительных работ и повышения экономических показателей производства.

Далее необходимо задаться размером дополнительной заработной платы $Z_{доп}$, который рассчитывается как

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

Для базовой технологии основная заработная плата $Z_{осн}=3384$ рублей, поэтому размер дополнительной заработной платы с учётом коэффициента $K_{доп}$ составляет $Z_{доп}=3384 \cdot 0,12=406$ рублей. Для проектной технологии

$Z_{\text{осн}}=940$ рублей, поэтому с учётом коэффициента $K_{\text{доп}}$ размер дополнительной заработной платы составляет $Z_{\text{доп}}=940 \cdot 0,12 = 113$ рублей.

Суммирование основной заработной платы и дополнительной заработной платы, если на рассматриваемом производственном участке реализуется базовый вариант $\Phi ЗП=3384 + 406 = 3790$ рублей. В случае, если на рассматриваемом производственном участке реализуется проектный вариант $\Phi ЗП=940 + 113 = 1053$ рублей.

Отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяются исходя из значения фонда заработной платы $\Phi ЗП$ и принимаемого из таблицы исходных данных коэффициента отчислений $K_{\text{сн}}$

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

При реализации на рассматриваемом производственном участке базовой технологии получаем $O_{\text{сн}}=3790 \cdot 34/100 = 1289$ рублей. При реализации на рассматриваемом производственном участке проектной технологии получаем $O_{\text{сн}}=1053 \cdot 34/100 = 358$ рублей.

Для того, чтобы вычислить величину амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ понадобится значение стоимости оборудования $\Pi_{\text{об}}$ из таблицы исходных данных. При «реализации на производственном участке базового варианта $\Pi_{\text{об}}=5000000$ рублей. При реализации на производственном участке проектного варианта $\Pi_{\text{об}}=4500000$ рублей. Также в качестве исходных данных служит машинное время $t_{\text{маш}}$, которое для базового и проектного варианта принимается соответственно как» [15] $t_{\text{маш}}=5$ часа и $t_{\text{маш}}=1,5$ часа. Для обоих вариантов технологии принимается ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени работы оборудования $F_3=2054$ часа. Значение нормы амортизации H_a принимается из таблицы исходных данных $H_a=21,5$ %. Таким образом, амортизационные отчисления рассчитываются как

$$A_{\text{об}} = \frac{\Pi_{\text{об}} \cdot H_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (11)$$

и при реализации базового технологического процесса составляют с учётом исходных данных $A_{об}=500000 \cdot 21,5 \cdot 5 / 2054 / 100 = 262$ рублей, при реализации проектного технологического процесса с учётом исходных данных амортизационные отчисления $A_{об}=4500000 \cdot 21,5 \cdot 1,5 / 2054 / 100 = 707$ рублей.

Ещё одной статьёй расходов, учитываемой при определении технологической и заводской себестоимости, является расходы на электрическую энергию $P_{э}$. Для расчётного определения понадобится цена на электрической энергии $C_{эл}$, которая из таблицы исходных данных принимается $C_{эл}=3,2$ руб/кВт·ч. Установленное на производственном участке оборудование имеет КПД=0,7 для базового варианта и КПД=0,85 для проектного варианта. Установленная мощность оборудования при реализации базового варианта технологического процесса составляет $M_{уст}=12$ кВт, установленная мощность оборудования при реализации проектного процесса составляет $M_{уст}=20$ кВт. Таким образом, при использовании формулы

$$P_{э} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot C_{эл} / \text{КПД}. \quad (12)$$

для базового варианта технологического процесса получаем стоимость электрической энергии $P_{э}=5 \cdot 12 \cdot 3,2 / 0,7 = 274$ рубля. При реализации проектного процесса расходы на электрическую энергию следует ожидать в размере $P_{э}=1,5 \cdot 20 \cdot 3,2 / 0,85 = 113$ рубля. Как видно из представленных расчётов, при реализации проектной технологии ожидается повышение расходов на электрическую энергию, это может быть объяснено тем, что при реализации проектной технологии используется более мощное оборудование, нежели при реализации базовой технологии.

С учетом рассчитанных значений определяем затраты на оборудование $Z_{об}$ при реализации рассматриваемых вариантов построения технологии

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э}. \quad (13)$$

который при реализации базового технологического процесса принимаем значение $Z_{об.} = 262 + 274 = 536$ рубля и при реализации проектного технологического процесса принимает значение $Z_{об.} = 707 + 113 = 820$ рубля.

На основании рассчитанных величин составляющих технологической себестоимости может быть определена сама технологическая себестоимость суммированием

$$C_{тех} = M + \PhiЗП + Осс + Z_{об.} \quad (14)$$

«Реализация базовой технологии характеризуется $C_{тех} = 3244 + 3790 + 1289 + 536 = 8859$ рубля. Реализация проектной технологии характеризуется технологической себестоимостью $C_{тех} = 1961 + 1053 + 358 + 820 = 4192$ рубля» [15].

Для наглядного представления состава технологической себестоимости построены сравнительные диаграммы, представленные на рисунке 23. Структурные составляющие технологической себестоимости, расчёт которых выполнен ранее, представлены таким образом, что позволяют выполнить визуальное сравнение их величин «по рассматриваемым вариантам построения технологического процесса. Следует ожидать значительного уменьшения фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды, что должно положительно сказаться на экономических показателях производства при внедрении предлагаемых технологических решений» [15].

Для того, чтобы рассчитать цеховую себестоимость $C_{цех}$, в качестве исходных данных в формулу подставляются значения технологической себестоимости $C_{тех}$, которое увеличивается с учётом цеховых расходов, определяемых через основную заработную плату $Z_{осн}$ и коэффициент цеховых расходов $K_{цех}$. Величина основной заработной платы определена ранее, а значение коэффициента цеховых расходов принимается из таблицы исходных данных

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

«С учетом введенных данных для базового варианта получаем $C_{\text{цех}}=8859 + 1,5 \cdot 3384 = 8859 + 5076 = 13935$ рубля. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант, размер цеховой себестоимости составит» [15] $C_{\text{цех}}=4192 + 1,5 \cdot 940 = 4192 + 1410 = 5602$ рубля.

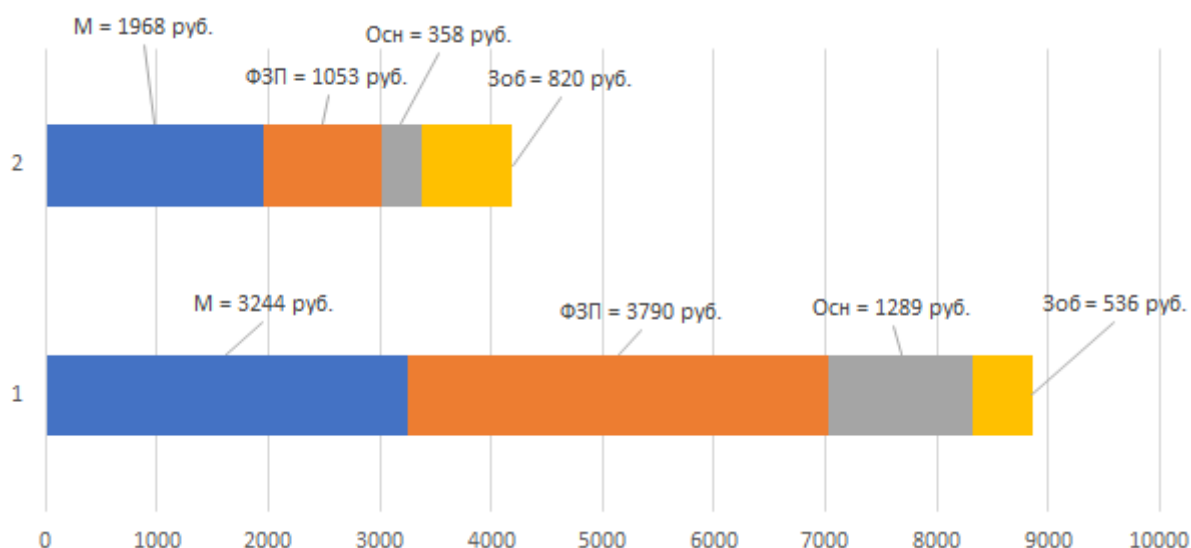


Рисунок 23 – Структура технологической себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологии

Для того, чтобы рассчитать заводскую себестоимость $C_{\text{зав}}$, в качестве исходных данных в формулу подставляются значения цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, которое увеличивается с учётом заводских расходов, определяемых через «основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и коэффициент заводских расходов $K_{\text{зав}}$. Величина основной заработной платы определена ранее, а значение коэффициента заводских расходов принимается из таблицы исходных данных» [15]

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

При реализации базового варианта технологического процесса размер заводской себестоимости составит $C_{\text{зав}}=13935+1,15 \cdot 3384=13935+3892=17827$ рубля. В случае реализации на производственном участке проектного процесса размер цеховой себестоимости составит $C_{\text{цех}}=5602+1,15 \cdot 940 =$

$5602 + 1081 = 6683$ рубля. Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов технологии может быть выполнена с использованием сведенных в таблицу 11 данных по составляющим заводской себестоимости. Графическое представление состава заводской себестоимости по рассматриваемым вариантам, представленное на рисунке 24, позволяет выполнить сравнительный анализ каждой статьи расходов.

Таблица 11 – Расчёт заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	3244	1961
2. Фонд заработной платы	ФЗП	3790	1053
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	1289	358
4. Затраты на оборудование	Зоб	536	820
5. Технологическая себестоимость	С _{тех}	8859	4192
6. Цеховые расходы	Р _{цех}	5076	1410
7. Цеховая себестоимость	С _{цех}	13935	5602
8. Заводские расходы	Р _{зав}	3892	1081
9. Заводская себестоимость» [11]	С _{зав}	17827	6683

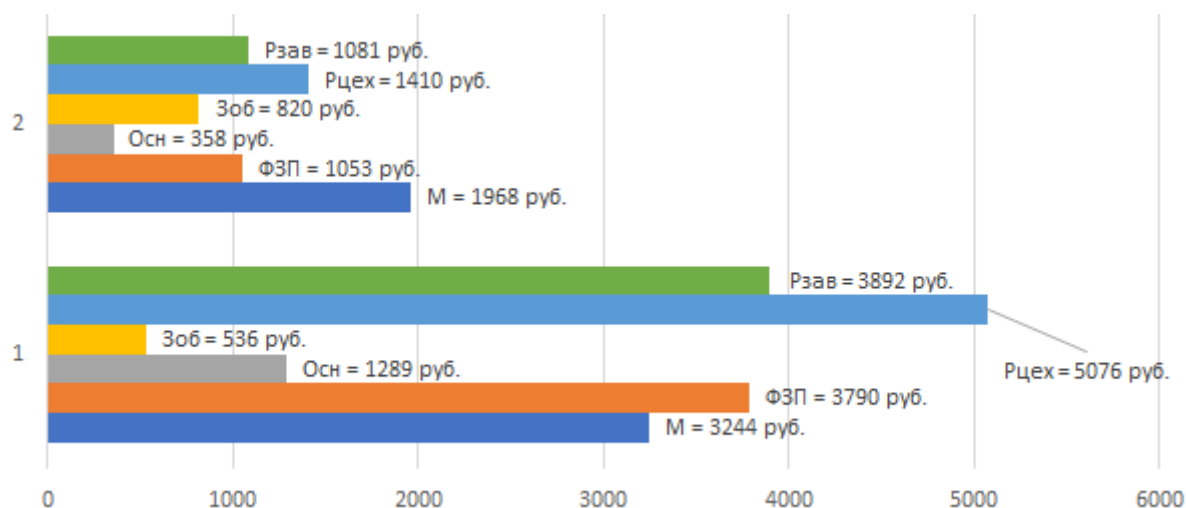


Рисунок 24 – Сравнительная диаграмма составляющих заводской себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологического процесса

Как видно из представленных данных, реализация проектной технологии позволяет уменьшить такие составляющие технологической себестоимости, как затраты на материалы, фонд заработной платы, отчисление

на социальные нужды. Значение заводской себестоимости снижается также за счёт уменьшения основной заработной платы.

«Как показывает численный и графический анализ, при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовым технологическим процессом наблюдается уменьшение технологической и заводской себестоимости» [15], что позволяет предполагать получение положительного экономического эффекта при внедрении в производство предлагаемых решений. показатели экономической эффективности будут рассчитаны далее с учетом капитальных вложений.

4.5 Капитальные затраты

При внедрении результатов выпускной квалификационной работы потребуется замена технологического оборудования, которое ранее эксплуатировалось на предприятии в течение срока службы $T_{\text{сл}}=3$ лет. Цена оборудования по базовому варианту составляет $C_{\text{перв}}=500000$ рублей. С учётом нормы амортизации N_a стоимость оборудования по базовому варианту может быть вычислена как

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

«Таким образом, остаточная стоимость оборудования, которое ранее применялось на предприятии для реализации базового технологического процесса, составляет $C_{\text{об.б.}}=500000-(500000 \cdot 3 \cdot 21,5/100)=285000$ рублей.

Ранее для рассматриваемых вариантов технологии был выполнен расчёт коэффициента загрузки оборудования K_z , который позволяет оценить капитальные затраты по базовому варианту» [15]

$$K_{\text{общ. б.}} = C_{\text{об.б.}} \cdot K_{z,б} = 285000 \cdot 0,4 = 114000 \text{ рублей.} \quad (18)$$

В случае, если на производственном участке реализуется проектная технология, капитальные затраты на оборудование $K_{\text{об.пр}}$ вычисляются с

использованием ранее определенного «коэффициента загрузки оборудования $K_3=0,1$, принятого из таблицы исходных данных коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}=1,05$ и цены оборудования $Ц_{об.пр.}=4500000$ рублей» [15]:

$$K_{об.пр.} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{ТЗ} \cdot K_{зп}. \quad (19)$$

Получаем $K_{об.пр} = 4500000 \cdot 1,05 \cdot 0,1 = 472500$ рублей.

При вычислении расходов $P_{дем}$ на демонтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации базовой технологии, необходимо учесть цену оборудования $Ц_{об.б}$ и коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}$, его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д} = 500000 \cdot 0,05 = 25000 \text{ рублей.} \quad (20)$$

При вычислении расходов $P_{мон}$ на монтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации проектной технологии, необходимо учесть цену оборудования $Ц_{об.пр}$ и коэффициента расходов на монтаж $K_{м}$, его принимаем из таблицы исходных данных

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м} = 4500000 \cdot 0,05 = 225000 \text{ рублей.} \quad (21)$$

С учётом полученных результатов расчета сопутствующие капитальные затраты $K_{соп}$ составляют

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт} = 25000 + 225000 = 250000. \quad (22)$$

Капитальные затраты $K_{общ.пр.}$ при организации производственного участка для выполнения проектной технологии могут быть рассчитаны как сумма капитальных затрат на оборудование $K_{об.пр}$ и сопутствующих затрат $K_{соп}$

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{соп.} = 472500 + 250000 = 722500 \text{ рублей} \quad (23)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ определяется как разность ранее рассчитанных капитальных затрат по рассматриваемым вариантам

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 722500 - 114000 = 608500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Исходными данными для расчёта удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ служат дополнительные капитальные затраты $K_{\text{доп}}$ и годовая программа $\Pi_{\text{г}}$, а самое значение $K_{\text{уд}}$ определяется как отношение этих величин

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

Если на производственном участке реализуется базовая технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $K_{\text{уд}} = 114000/200 = 570$ рублей. Если на производственном участке реализуется проектная технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как $K_{\text{уд}} = 722500/200 = 3612$ рублей.

4.6 Экономические показатели эффективности

Для того, чтобы оценить «эффективность предлагаемых решений, реализацию которых предлагается выполнить на рассматриваемом производственном участке, следует рассчитать такие показатели, как снижение трудоёмкости $\Delta t_{\text{шт}}$, повышение производительности труда $\Pi_{\text{г}}$, снижение технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$, условно годовую экономию $\mathcal{E}_{\text{г}}$, срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ и годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{г}}$ » [15].

При определении снижения трудоёмкости $\Delta t_{\text{шт}}$ в качестве исходных данных следует принять ранее определенные значения штучного времени $t_{\text{шт}}$ в базовом и проектном вариантах. На основании проведенных ранее расчётов в качестве исходных данных принимается $t_{\text{шт б}} = 9$ часа и $t_{\text{шт пр}} = 2,5$ часа для

реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии

$$\Delta t_{\text{шт}} = (t_{\text{шт.б}} - t_{\text{шт.пр}}) \cdot 100 \% / t_{\text{шт.б}} = (9 - 2,5) \cdot 100 \% / 9 = 72 \%. \quad (26)$$

При определении повышения производительности труда Π_T , которое достигается на рассматриваемом производственном участке в случае внедрения предлагаемых решений используется рассчитанное ранее значение снижения трудоемкости $\Delta t_{\text{шт}}$

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{\text{шт}} / (100 - \Delta t_{\text{шт}}) = (100 \cdot 72) / (100 - 72) = 257 \%. \quad (27)$$

Для оценки снижения технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$ необходимо в качестве исходных данных использовать рассчитанные ранее технологические себестоимости для случая реализации на рассматриваемом производственном участке вариантов технологии. В случае выполнения операция согласно базового варианта технологии принимается $C_{\text{тех.б}} = 8859$ рубля. В случае выполнения операций согласно проектного варианта технологии принимается $C_{\text{тех.пр}} = 4192$ рубля

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б}} - C_{\text{тех.пр}}) \cdot 100 \% / C_{\text{тех.б.}} = (8859 - 4192) \cdot 100 \% / 8859 = 53 \% \quad (28)$$

Для оценки размеров условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ следует в качестве исходных данных принять ранее определенную годовую программу $\Pi_T = 200$. Условно-годовая экономия получается из разности заводских себестоимостей по рассматриваемым вариантам. В случае реализации на производственном участке базовой технологии принимается $C_{\text{зав.б}} = 17827$ рубля. В случае реализации на производственном участке проектной технологии принимается $C_{\text{зав.пр}} = 6683$ рубля

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}}) \cdot \Pi_T = (17827 - 6683) \cdot 200 = 2228800 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Для расчётного определения срока окупаемости $T_{ок}$ дополнительных капитальных вложений в качестве исходных данных следует принять ранее рассчитанные условно-годовую экономию $\mathcal{E}_{уг}$ и дополнительные капитальные вложения $K_{доп}$

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 296000 / 808100 = 0,2 \text{ года.} \quad (30)$$

В случае реализации на рассматриваемом производственном участке технологического процесса с внесенными изменениями совокупная экономическая эффективность оценивается по годовому экономическому эффекту $\mathcal{E}_г$. Для расчётного определения этой величины необходимо в качестве исходных данных принять ранее рассчитанную условно-годовую экономию $\mathcal{E}_{уг}$ и ранее рассчитанную величину дополнительных капитальных вложений $K_{доп}$. Из таблицы исходных данных принимается значение нормативного коэффициента окупаемости затрат E_n

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп} = 2228800 - 0,33 \cdot 608500 = 2027995 \text{ рубля.} \quad (31)$$

На основании проведенных расчётов следует констатировать, что внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений позволяет получить повышение всех рассматриваемых в разделе экономических показателей, что положительно характеризует ценность предложенных решений.

Так как при реализации проектной технологии наблюдается значительное повышение производительности, то рассматриваемый производственный участок и находящееся на нем оборудование может быть использовано для выполнения аналогичных работ, что, в конечном итоге, позволит ещё больше повысить экономические показатели производства и сохранить размер фонда заработной платы без увеличения нагрузки на работников предприятия.

Выводы по экономическому разделу

Таким образом, для представленных в настоящей выпускной квалификационной работе технических решений выполнено обоснование эффективности внедрения в современное производство. За счёт применения более прогрессивных методов ожидается снижение трудоёмкости на величину $\Delta t_{шт} = 72 \%$ и повышение производительности труда на величину $\Pi_T = 257 \%$. Повышение производительности труда позволяет в значительной степени уменьшить такую составляющую технологической и заводской себестоимости, как фонд заработной платы. Кроме того, повышение производительности труда позволяет уменьшить значение коэффициента загрузки оборудования, что положительно сказывается на амортизационных отчислениях. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет $\Delta C_{тех} = 53 \%$. Происходит уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости, условно-годовая экономия ожидается в размере $\mathcal{E}_{ут} = 2,228$ млн. рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений в размере $K_{доп} = 608$ тысяч рублей, срок окупаемости которых составляет 0,2 года. При реализации предлагаемых изменений на рассматриваемом производственном участке годовой экономический эффект $\mathcal{E}_r = 2,028$ млн. рублей. Вышеизложенное позволяет судить о целесообразности внедрения на современных предприятиях Российской Федерации предлагаемых решений, так как возникает не только технологический, но и экономический эффект. Кроме того, следует принимать во внимание, что экономический эффект будет мультиплицирован при внедрении предлагаемых решений изготовления других деталей, а так же при комплексном внедрении на нескольких предприятиях. Многократное повышение производительности труда позволяет предприятию принимать сторонние заказы на проведение работ, поэтому предлагается организовать центр изготовления элементов технологических трубопроводов.

Заключение

Представленная выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по изготовлению элементов технологических трубопроводов, которые используются для изготовления и ремонта нефтеперерабатывающих предприятий Европейской части. . Базовый процесс сборки и сварки предусматривает применение ручной дуговой сварки с перспективой её замены на механизированную сварку в защитных газах. На основании анализа источников научно-технической информации доказана перспективность применения средств роботизации, которые позволят снизить трудоемкость и стоимость, повысить производительность и качество работ. Применение роботизированной сварки должно предусматривать использование современных достижений в области управления сварочными процессами и применение перспективных высокопроизводительных способов сварки. По результатам анализа исходных данных и известных решений удалось выполнить постановку задач.

В ходе решения первой задачи была проведена экспертная оценка способов сварки рассматриваемых деталей, предложено механизированную сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения, которая при построении проектной технологии обеспечит повышение эффективности предприятия. Полученный результат может быть перенесен на большинство предприятий, продолжающих реализацию работ с применением ручной дуговой сварки.

В ходе решения второй задачи составлена планировка роботизированного технологического комплекса, который позволяет выполнять сварку типовых деталей трубопровода, при этом переход на сварку деталей изменённой конструкции не сопровождается значительными издержками.

В ходе решения третьей задачи составлена проектная технология сварки на примере отвода диаметром 426 мм и толщиной стенки 12 мм. Сборку и прихватку предлагается вести с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, выполнение сварных швов предлагается вести на роботизированном технологическом комплексе, разработанном в ходе решения второй задачи.

При выполнении экологического раздела получены сведения, позволяющие заключить, что предлагаемая проектная технология может быть реализована на современном предприятии с обеспечением необходимого уровня защиты персонала от действия опасных и вредных производственных факторов. Должная степень защиты окружающей среды и нейтрализация антропогенного действия производственного участка обеспечиваются предлагаемыми в разделе мероприятиями.

Применение на производственном участке предлагаемых решений позволяет повысить производительность труда на 257 % и снизить трудоемкость на 72 %. Многократное повышение производительности труда позволяет предприятию принимать сторонние заказы на проведение сварочных работ, поэтому на базе производственного участка может быть организован региональный центр по изготовлению элементов технологических трубопроводов, позволяющих проводить оперативный ремонт нефтеперерабатывающих предприятий в Европейской части России. Проведенные расчёты показали, что в случае, если на рассматриваемом производственном участке будут реализована проектная технология, годовой экономический эффект составит 2,028 млн рублей.

На основании вышеизложенного предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе решения могут быть рекомендованы для внедрения на современных предприятиях Российской Федерации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
2. Бербасова Н. Ю. Инновационная восприимчивость предприятия как инструмент повышения эффективности сварочного производства // Повышение эффективности сварочного производства и мотивация труда. Бобруйск, 2000. С. 39–40.
3. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
4. Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: Издательский центр "Академия", 2006. 432 с.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Гурвич Л.Я., Лащевский В.Б. Сопротивление коррозионному растрескиванию высокопрочных нержавеющей сталей и их сварных соединений // Защита металлов. 1993. Т. 29, № 5.
7. Денисова Л. С. Рекомендации по обеспечению качества сварочных работ в строительстве. Минск : НТПО «Белстройнаука». 1990. 105 с.
8. Дудко Д. А., Сидорчук В. С., Зацерковный С. А. Технология ручной дуговой сварки покрытыми электродами с модуляцией параметров режима // Автоматическая сварка. 1991. № 12. С. 59–60.
9. Ильясова А. Х. Технология современной сварки деталей трубопровода // Экспозиция Нефть и газ. 2012. № 10. С. 26-29.
10. Исламова А. В., Хамидуллин А. Р. Оценка экономической эффективности роботизированной сварки фасонных деталей трубопроводов // Актуальные направления научных исследований в области экономики, финансов и учета : от теории к практике : материалы X Всероссийской конференции. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2020. С. 91-93.

11. Карасев М. В., Копиленко Е. А., Павленко Г. В. Основные тенденции развития производства сварочного оборудования в объединении «СЭЛМА-ИТС» и его применение в России и странах СНГ // Автоматическая сварка. 2002. № 5. С. 52–57.
12. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.
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. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
15. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
16. 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.
17. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.
18. Патент № 2219032 РФ, МКИ В23К35/365. Состав электродного покрытия / Лозовский М. М., Волохов А. П., 2003.
19. Патон Б. Е. Потапьевский А. Г., Подола И. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с программным регулированием процесса // Автоматическая сварка. 1964. № 1. С. 1–6.
20. Примчук И. В. Роботизированный сварочный комплекс как средство автоматизации сварки элементов трубопровода // XXII Туполевские чтения. Школа молодых ученых. Том II. С. 187-191.
21. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.

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

23. Shan-Ben Chen, Jing Wu. Intelligentized Methodology for Arc Welding Dynamical Processes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. 276 p.