

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 Технологический процесс сборки и сварки ковша бульдозера

Обучающийся

А.Е. Куликов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

Расходные материалы к большинству строительной техники импортного производства в настоящее время в Российской Федерации не поставляются или поставляются по усложненным логистическим цепочкам. Из-за этого необходимо предусмотреть самостоятельное изготовление массивных металлоемких расходных элементов бульдозера. Дальнейшая эксплуатация техники в настоящих условиях приводит только к усугублению сложившейся ситуации. На основании этого следует признать актуальность выбранного направления – повышение производительности изготовления расходных элементов строительной техники на примере ковша бульдозера. Пояснительная записка включает введение, четыре раздела, заключение и библиографический список. Во введении на основании краткого анализа состояния вопроса выполнено обоснование актуальности и сформулирована цель. Первый раздел содержит исходную информацию по особенностям конструкции ковша бульдозера и условий его эксплуатации, анализу материала и особенностям базовой технологии сборки и сварки. Во втором разделе обоснован выбор способа сварки, который предлагается использовать для построения проектной технологии. Предложено применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения с использованием модернизированного источника питания. Такой источник питания, построенный на базе стандартного сварочного выпрямителя с использованием разработок российских ученых, существенно расширяет технологические возможности сварки. С использованием предлагаемых решений составлена проектная технология. В третьем разделе рассмотрены вопросы 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 представлено обоснование эффективности внедрения предлагаемых решений.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Анализ современного состояния сварки ковшей строительной техники. . . . .	6
1.1 Описание типового изделия и условий его изготовления. . . . .	6
1.2 Сведения о материале изделия. . . . .	8
1.3 Особенности базовой технологии сборки и сварки. . . . .	10
1.4 Анализ источников научно-технической информации. . . . .	15
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы. . . . .	18
2 Проектная технология сварки ковша . . . . .	19
2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии. . . . .	19
2.2 Повышение эффективности сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. . . . .	24
2.3 Роботизация сборочных и сварочных операций при изготовлении ковша. . . . .	27
2.4 Особенности проектной технологии сборки и сварки. . . . .	36
3 Трудовая и экологическая безопасность производственного участка. . . . .	39
3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений. . . . .	39
3.2 Профессиональные риски. . . . .	40
3.3 Устранение профессиональных рисков. . . . .	42
3.4 Пожарная безопасность предприятия. . . . .	43
3.5 Экологическая безопасность производственного участка. . . . .	45
4 Экономическая эффективность предлагаемых решений. . . . .	47
4.1 Вводные данные для экономического анализа. . . . .	47
4.2 Фонд времени работы оборудования. . . . .	49
4.3 Штучное время и годовая программа. . . . .	50
4.4 Расчёт заводской себестоимости . . . . .	52

4.5 Капитальные затраты. . . . .	59
4.6 Экономические показатели эффективности. . . . .	61
Заключение . . . . .	65
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	67

## Введение

Главным рабочим инструментом бульдозера является его ковш (отвал), который предназначен для решения задач различной сложности при расчистке местности, выравнивании грунта, сгребании мусора при проведении дорожно-строительных, спасательных, коммунальных и других видов работ.

При изготовлении ковшей бульдозера нашли применение ручная дуговая сварка покрытыми электродами и автоматической сваркой под флюсом. Поскольку ковш (отвал) бульдозера воспринимает основную нагрузку в процессе выполнения работ, к его изготовлению предъявляются серьезные требования по качеству. Основная конструкция ковша выполнена из стали повышенной прочности и износостойкости, на которую крепятся рабочие зубья – двусторонние ножи с режущими кромками. Ресурс работы ковша бульдозера ограничивается по причине тяжелых условия эксплуатации, в связи с чем происходит постоянная их замена на работающей технике [6], [20]. Поскольку в ближайшее время планируется проведение значительного количества работ, связанных со спасением людей и разгребанием обломков, необходимо увеличение объемов выпуска ковшей бульдозера, для чего необходимо рассмотреть вопрос перехода от ручных способов сварки к механизированными и автоматизированным. При этом следует указать на тот факт, что расходные материалы к большинству строительной техники импортного производства в настоящее время в Российскую Федерацию не поставляются или поставляются по усложненным логистическим цепочкам [7], [13]. Из-за чего необходимо предусмотреть самостоятельное изготовление массивных металлоемких расходных элементов бульдозера.

На основании вышеизложенного следует сделать вывод о высокой актуальности поставленной цели – повышение эффективности сварочных технологий при изготовлении бульдозерных ковшей.

# **1 Анализ современного состояния сварки ковшей строительной техники**

## **1.1 Описание типового изделия и условий его изготовления**

На рисунке 1 представлен установленный на бульдозере ДТ-75 ковш, предназначенный для расчистки от снега, а также для перемещения сдвижением грунта, щебня, песка и других сыпучих материалов. Конструкция ковша представлена на рисунке 2.

Конструкция ковша включает в себя кронштейн 1 в количестве двух штук, козырек 2, ребро 3 в количестве трех штук, лист лобовой 4, коробку верхнюю 5, пластину 6 в количестве двух штук, коробку нижнюю 7, два ребра жесткости 8, две накладки 9 и две боковины 10.

Соединение элементов ковша происходит ручной дуговой сваркой и автоматической сваркой под флюсом.



Рисунок 1 – Установленный на бульдозере ДТ-75 ковш ДЗ-42

Ширина захвата ковша составляет 2500 мм, полная масса ковша составляет 1090 кг. Срок службы ковша составляет 5 лет при гарантийном периоде эксплуатации 1 год. Ковш является съемным, что позволяет

выполнять его оперативную замену при оснащении бульдозера другим навесным оборудованием и проведении ремонта ковша. Режущие кромки также являются съемными, что позволяет выполнять их оперативную замену и сьем для проведения восстановительной наплавки.

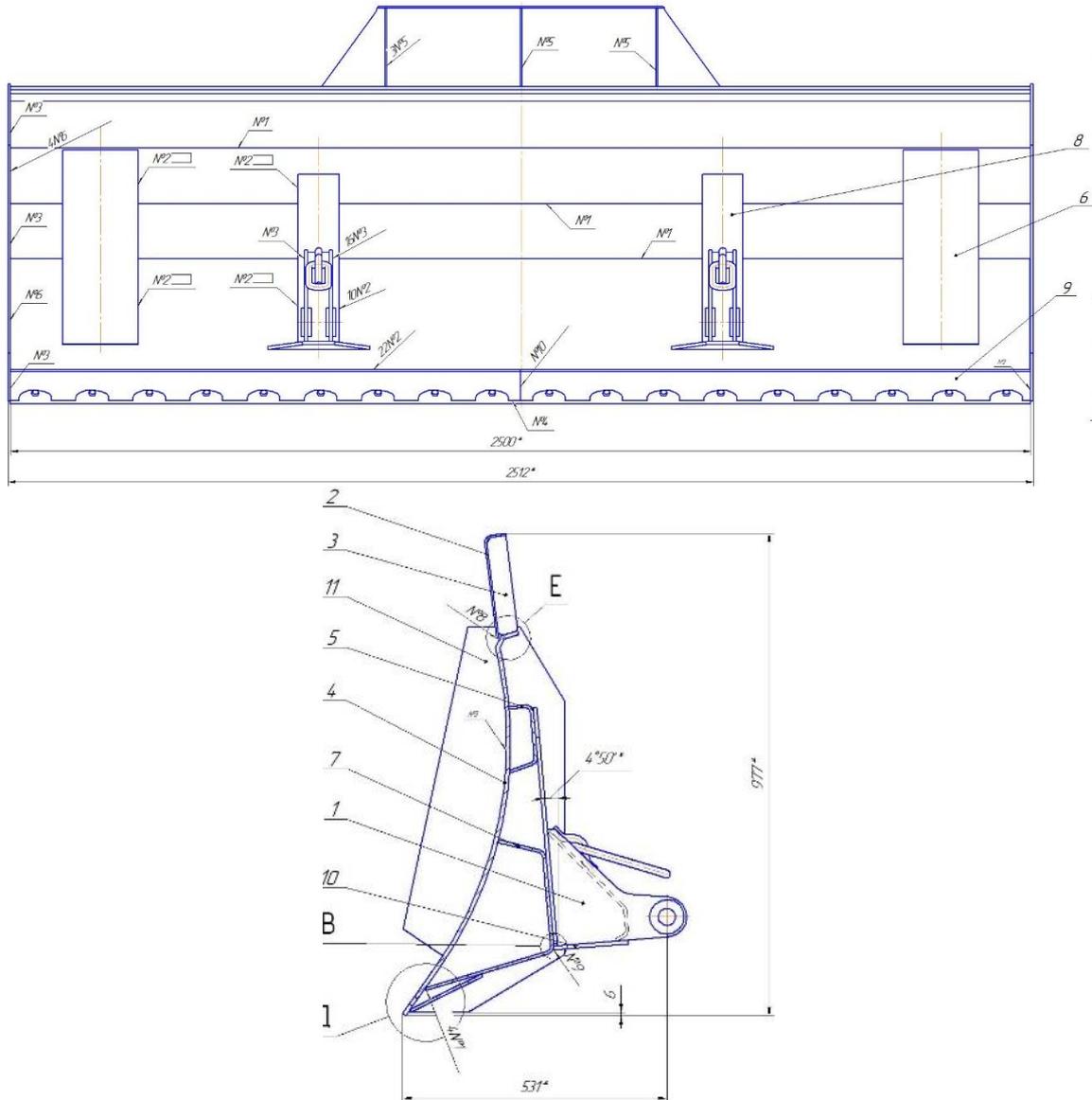


Рисунок 2 – Конструкция бульдозерного ковша

Толщина элементов, из которых выполнен ковш, составляет 6...10 мм. Применение заготовок разной толщины в зависимости от места установки позволяет существенно уменьшить массу ковша без потери его прочностных характеристик и жесткости конструкции.

## 1.2 Сведения о материале изделия

Рассматриваемый в настоящей выпускной квалификационной работе ковш изготавливается из листов из «стали 10ХСНД, содержание химических элементов в которой представлено в таблице 1. Указанная сталь нашла применение при выполнении ответственных металлических конструкций, к которым предъявляются требования повышенной по сравнению с низкоуглеродистой сталью прочности и стойкости против коррозионного воздействия. Конструкции из стали 10ХСНД предназначены для работы при температуре от -70 до +450 °С» [18], [19].

Таблица 1 – Состав стали 10ХСНД

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	N	P	S
до 0,12	0,8...1,1	0,5...0,8	0,6...0,9	0,5...0,8	0,4...0,6	до 0,008	до 0,035	до 0,04

Рассматриваемая сталь является низколегированной конструкционной и характеризуется повышенными прочностными характеристиками, что объясняется содержащимися в ней элементами – хромом, никелем и марганцем. Также эти элементы повышают коррозионную стойкость стали.

Далее рассмотрим влияние каждого элемента на свойства стали 10ХСНД. «Углерод положительно сказывается на прочностные свойства стали, повышая твердость, прочность, предел текучести и временное удлинение стали. При этом повышение углерода в стали снижает хладостойкость и ударную вязкость, ухудшает свариваемость.

Кремний оказывает положительное влияние практически на все свойства стали, повышает прочностные характеристики, но при этом снижая стойкость против коррозии и относительное удлинение стали» [18]. На свариваемость и хладостойкость кремний оказывает противоречивое действие, до определенного процента содержания в стали кремния эти характеристики повышаются, далее – резко снижаются.

Марганец повышает прочностные характеристики стали и её стойкость по отношению к коррозии. При этом ударная вязкость и относительное удлинение при повышении процентного содержания в стали марганца снижается.

Никель и хром является элементами, повышающими коррозионную стойкость стали и её прочностные характеристики. Медь повышает прочностные характеристики и коррозионную стойкость стали, но отрицательно влияет на свариваемость.

При сварке конструкций из стали 10ХСНД, особенно толстостенных, приходится считаться с высокой опасностью возникновения горячих трещин, которые могут появляться в результате снижения нагретым металлом способности воспринимать нагрузку, что характеризуется температурным интервалом хрупкости. При кристаллизации стали в ней возникают растягивающие напряжения, величина которых может превысить предел текучести нагретой стали, что становится причиной зарождения и развития трещины, которая визуально может быть определена по разветвленной форме и окислившемуся металлу по краям трещины. При сварке «на склонность к образованию горячих трещин влияет не только толщина свариваемого металла, но и особенности конструкции изделия. Выступающие элементы и резкие переходы, изменение направления сварного шва, могут выступить концентраторами напряжений, вокруг которых будет наблюдаться образование горячих трещин» [18].

Для устранения опасности возникновения горячих трещин при выполнении сварных конструкций из стали 10ХСНД необходимо правильно проектировать конструкцию, избегая концентраторов напряжений, назначать и поддерживать параметры режима сварки, обеспечивающие минимальную погонную энергию при сварке, применять предварительный и сопутствующий подогрев. Также успешно бороться с горячими трещинами позволяет применение электродного материала со специальной системой легирования, наложение на сварочную ванну импульсов и ультразвука.

### 1.3 Особенности базовой технологии сборки и сварки

Перед выполнением операций проводят контроль состояния поверхности проката, на котором не должно быть таких дефектов, как вздутия, вкатанные окалины, раковины и сквозные разрывы [16]. Допускается волнистость листа и прогиб не более 15 мм на 1 метр, при превышении этой величины необходимо провести правку листа с применением листопрямительной машины. Если на поверхности листа обнаружены дефекты, их следует удалить механическим способом при условии, что толщина листа не уменьшится более чем на 0,4 мм от номинальной толщины. При осмотре кромок следует убедиться в отсутствии расслоений, трещин и разрывов.

Качество поверхности листов контролируется визуально на всех листах по всей их поверхности.

Правку листов проводят с применением многовалковой листопрямительной машины, в состав которой входят два горизонтальных ряда роликов.

«Резку листового проката проводят с применением представленных на рисунке 3 ножниц НГ-32Г/02 с гидравлическим приводом, которые изготавливаются в России на Оренбургском заводе прессовых машин. Такие ножницы позволяют выполнять» [16] резку металла с высокой точностью толщиной до 32 мм.

Для фиксации заготовок служит специальное сборочное приспособление, оснащенное набором стоек, ложементов, гидравлическими и ручными прижимами. Для выполнения сварных швов применяется ручная дуговая сварка и автоматическая сварка под флюсом.

Перед выполнением сварочных операций проводят проверку допуска сварщиков к выполнению работ, маркировку и состояние сварочных материалов, качество сборки, состояние сварочного оборудования.

Для ручной дуговой сварки применяется представленный на рисунке 4 источник питания BRIMA ARC-250.



Рисунок 3 – Гильотинные ножницы НГ-32Г/02



Рисунок 4 – Сварочный выпрямитель BRIMA ARC-250

«Сварку ведут электродами УОНИ 13/55 диаметром 3 мм и диаметром 4 мм. Ток сварки при использовании электродов диаметром 3 мм составляет 90...100 А. Ток сварки при использовании электродов диаметром 4 мм составляет 120...150 А» [18].

Для автоматической сварки применяется представленный на рисунке 5 источник тока LAF 631, который обеспечивает необходимую силу тока. Перемещение сварочной головки выполняется с применением представленной на рисунке 6-а каретки ВТС, на которой закреплена сварочная головка ESAB A2 Minimaster, представленная на рисунке 6-б.

«Сварку ведут с применением проволоки Св-08ГА диаметром 4 мм. Ток сварки задают 670...700 А, напряжение на дуге 28...30 В, скорость сварки составляет 22...23 м/ч. На рисунке 7 представлены сварные швы на изделии» [18].



Рисунок 5 – Источник тока LAF 631 для автоматической сварки под флюсом



а)



б)

Рисунок 6 – Оборудование для автоматической сварки под флюсом: каретка линейного перемещения (а) и сварочная головка (б)

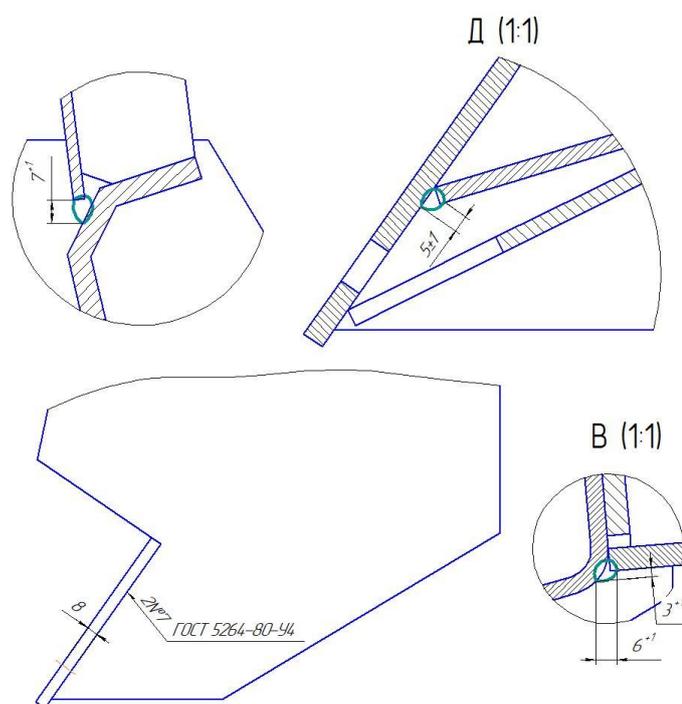


Рисунок 7 – Сварные швы на изделии

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 8-а. В состав комплекта входит футляр для хранения, в котором помещены инструкция для проведения контроля, электрический фонарик, набор луп увеличением 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 вырубают и переваривают» [16]. К следующим методам контроля приступают только после положительного решения по результатам визуального контроля. После проведения визуального контроля проводят проверку качества ультразвуковыми методами с применением представленного на рисунке 8-б ультразвукового дефектоскопа UCD-50. Объем контроля ультразвуковыми методами составляет 30 %. В основном для контроля следует выбирать места с подозрением на наличие недопустимых дефектов [3].



Рисунок 8 – Набор для проведения визуально-измерительного контроля (а) и ультразвуковой дефектоскоп UCD-50 (б)

Если в ходе проверки качества был обнаружен недопустимый дефект, 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.

При выполнении базовой технологии сборки и сварки изделия значительное количество сварных швов выполняется с применением ручной дуговой сварки покрытыми электродами. По сравнению с автоматическими и механизированными способами применение ручной дуговой сварки имеет ряд недостатков, которые отмечены исследователями и авторами ряда работ [4], [11], [12].

«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» [11], исправление которых дополнительно повышает трудоемкость технологического процесса .

Значительное повышение экономических показателей производства может быть достигнуто при применении средств автоматизации и роботизации производства, при этом эффективность такого производства может быть обеспечена при условии применения перспективных сварочных технологий, позволяющих обеспечить пространственную стабильность горения дуги и стабильное качество сварных соединений при автоматическом регулировании протекания сварочных операций.

Вышеприведенный анализ позволяет обозначить направления дальнейших изыскательных работ, направленных на повышение эффективности сборки и сварки рассматриваемого изделия.

## 1.4 Анализ источников научно-технической информации

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочных работ при изготовлении ковшей бульдозера. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. 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, 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). Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам.

В первом источнике научно-технической информации [17] «доказана высокая перспективность импульсно-дуговых процессов при построении технологии сварки и ремонта металлических конструкций различного назначения. Применение импульсного режима существенно снижает испарение электродного металла, что, повышает энергоэффективность процесса сварки за счёт повышения эффективного КПД сварочного процесса.

Кроме того, существенно снижается потеря электродного материала на разбрызгивание и угар. Результаты работы будут использованы для обоснования выбора способа сварки при возведении резервуара и для построения проектной технологии ремонтной сварки, если будет принято решение применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения» [17].

Во второй работе [8] «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. 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» [8].

В третьей работе [16] «представлен промышленный опыт применения технологии сварки и наплавки порошковой проволокой на различных предприятиях. Показана высокая эффективность применения механизированной сварки и наплавки порошковой проволокой. Для промышленности предложена проволока оригинального состава диаметром 1,6 мм. Применение этой проволоки отличается отсутствием дефектов в наплавленном металле и уменьшенным уровнем остаточных напряжений. Данная работа позволяет судить о высокой эффективности применения сварки порошковой проволокой и будет рассмотрена для обоснования выбора способа сварки при построении проектной технологии» [16].

Во четвертом источнике научно-технической информации [15] предлагаются мероприятия, повышающие стойкость сварных соединений хрупкому разрушению. Показана высокая роль подготовки кромок и правильности геометрии сварного шва. Наличие в сварном шве острых концентраторов напряжения становится главной причиной хрупкого разрушения конструкции в ходе эксплуатации. Результаты работы будут использованы для построения проектной технологии ремонтной сварки несущих транспортных конструкций.

В пятом источнике научно-технической информации [1] для повышения эффективности операции сварки при изготовлении и ремонте металлических конструкций предлагается использовать защитную газовую смесь, в которую дополнительно введен озон в количестве 0,00001...0,01 %. Применение такой газовой смеси позволяет существенно повысить технологические свойства сварочной дуги, обеспечить хороший внешний вид сварного шва, схожий с видом после выполнения сварки под флюсом. Данная работа будет применена при обосновании выбора способа сварки, так как показывает высокую эффективность механизированной сварки в защитном газе при условии применения предлагаемой газовой смеси. Кроме того, эта работа будет использована при составлении проектной технологии сварки.

На основании предварительного анализа по результатам изучения научно-исследовательских работ и знаний, полученных в ходе обучения на кафедре сварки Тольяттинского государственного университета для последующего критического анализа могут быть отобраны следующие способы сварки: ручная дуговая сварка, сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, сварка самозащитной порошковой проволокой, сварка под флюсом. При выборе способа сварки предстоит дать каждому рассматриваемому способу экспертную оценку по технологическим критериям и рассмотреть возможность повышения производительности за счёт применения средств автоматизации и роботизации, что позволит соответствовать мировой направленности развития сварочного производства.

## 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

При составлении введения к настоящей выпускной квалификационной работе проведен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность выбранного направления работы и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Достижение поставленной цели возможно при условии последовательного решения ряда задач, постановка которых должна быть выполнена по результатам настоящего (аналитического) раздела выпускной квалификационной работы.

Первая задача заключается в обосновании выбора способа сварки, который будет использован для составления проектной технологии сборки и сварки ковшей строительной техники. При решении этой задачи предстоит провести критический анализ способов сварки, их экспертную оценку по технологическим критериям и выбор оптимального способа сварки

Вторая задача заключается в расширении технологических возможностей выбранного способа сварки с использованием современных достижений мировой и отечественной сварочной науки в области управления переносом электродного металла.

Третья задача заключается в построении роботизированного комплекса для сборки и сварки типовых изделий, который характеризуется простотой перепрограммирования для сварки новых деталей и высокой ремонтпригодностью без остановки работы.

Четвертая задача предусматривает построение проектного технологического процесса, в ходе решения которой предстоит составить перечень операций, назначить параметры режима и технические условия выполнения операций.

В оценочных разделах предстоит обосновать возможность применения результатов решения поставленных задач в современном производстве с получением положительного экономического эффекта. Также следует обозначить направления дальнейших исследований.

## **2 Проектная технология сварки ковша**

### **2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии**

При построении проектной технологии сварки необходимо обосновать выбор способа сварки, позволяющего выполнять сборку и сварку рассматриваемого изделия с максимальной производительностью и показателями качества.

«На основании предварительного анализа для построения проектной технологии были приняты к рассмотрению следующие способы сварки. Ручная дуговая сварка, имеющая значительную долю в базовой технологии и обладающая максимальной универсальностью. Вторым способом, применение которого может быть осуществлено для сборки и сварки данного изделия, является автоматическая сварка под флюсом, с применением этого способа сварки может быть выполнено несколько прямолинейных швов, имеющих достаточную протяженность для того, чтобы автоматическая сварка под флюсом могла проявить эффективность. Третьим способом является сварка в защитных газах проволокой сплошного сечения, этот способ может быть реализован как с применением ручного труда (механизированная сварка), так и с применением средство роботизации. Четвертым способом является сварка порошковой самозащитной проволокой, этот способ позволяет сочетать положительные особенности ручной дуговой сварки и сварки в защитных газах» [18].

Таким образом, на основании знаний, полученных в ходе обучения на кафедре сварки Тольяттинского государственного университета, предстоит выполнить экспертную оценку принятых к рассмотрению способов с критическим анализом присущим им преимуществ и недостатков.

На рисунке 9 представлена схема выполнения ручной дуговой сварки, этот способ сварки до настоящего времени продолжает занимать лидирующие

позиции по причине высокой универсальности, низкой стоимости оборудования. Кроме того, практически на каждом профильном предприятии имеется необходимое оборудование для ручной дуговой сварки и персонал соответствующей квалификации, что позволяет внедрять проектные технологии сварки и наплавки с применением ручной дуговой сварки без существенных капитальных затрат. Процесс ручной дуговой сварки характеризуется высокой универсальностью 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.

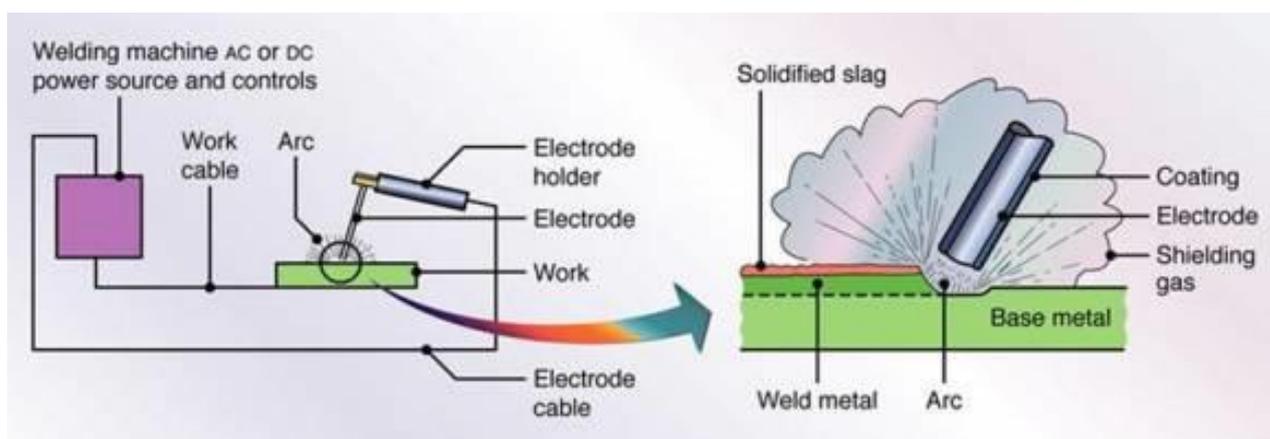


Рисунок 9 – Схема ручной дуговой сварки

Недостатком ручной дуговой сварки является необходимость прерывания процесса на смену электрода, что отрицательно сказывается на производительности и качестве сварочных работ. Кроме того, потери электродного металла приводят к увеличению затрат на сварочные материалы. Ещё одним недостатком является необходимость очистки наплавленного металла от шлака, что существенно увеличивает трудоемкость сварки и повышает вероятность получения в сварном шве шлаковых включения. Также следует отметить тяжелые условия труда сварщика и невозможность автоматизации процесса с применением современных технических решений.

На рисунке 10 представлена схема автоматической сварки под флюсом, которая позволяет получить максимальную производительность процесса сварки из рассматриваемых в настоящей работе способов. «Так как горение дуги проходит под слоем гранулированного флюса расплавившегося шлака, устраняется проблема разбрызгивания электродного металла и вредного излучения от сварочной дуги. Это существенно повышает энергетические характеристики сварки по сравнению с другими способами, снижается расход электродного металла, затраты электрической энергии, улучшается внешний вид сварного соединения и условия труда сварщика» [18].

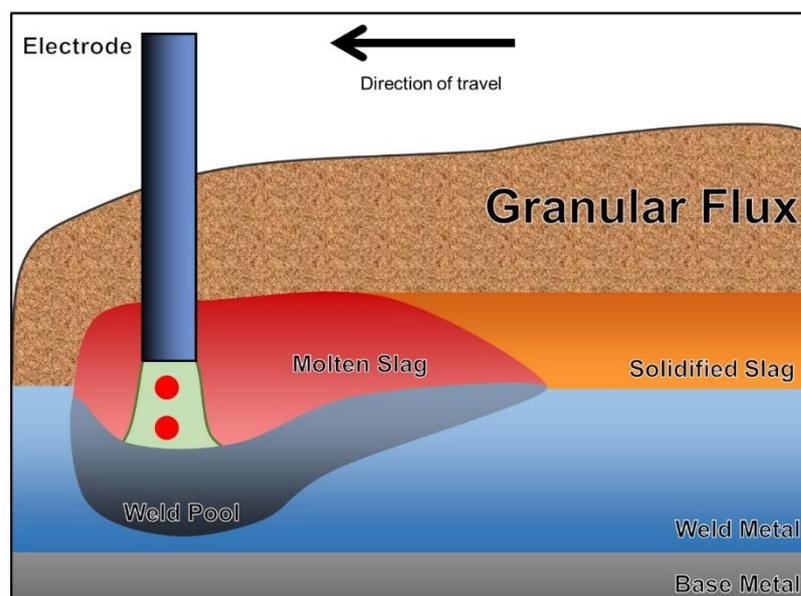


Рисунок 10 – Схема автоматической сварки под флюсом

«В числе недостатков автоматической сварки под флюсом следует отметить низкую эффективность при сварке швов малой протяженности и в пространственных положениях, отличных от нижнего. Кроме того, при сварке под флюсом наблюдается значительный перегрев основного металла» [18], что способствует укрупнению структуры и снижению эксплуатационных свойств соединения. Несмотря на то, что в настоящее время способ автоматической сварки начинает роботизироваться, сварка с его применением коротких разнонаправленных швов затруднена.

На рисунке 11 представлена схема «сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Существенное повышение производительности при этом способе по сравнению с ручной дуговой сваркой достигается за счёт отсутствия необходимости прерывать сварку на смену электрода и отбитие шлака, который образуется в предельно малых количествах, не оказывающих влияние на качество сварного шва. Высокая вязкость расплавленного металла сварочной ванны делает возможным сварку во всех пространственных положениях без опасности вытекания сварочной ванны под действием гравитационных сил» [18].

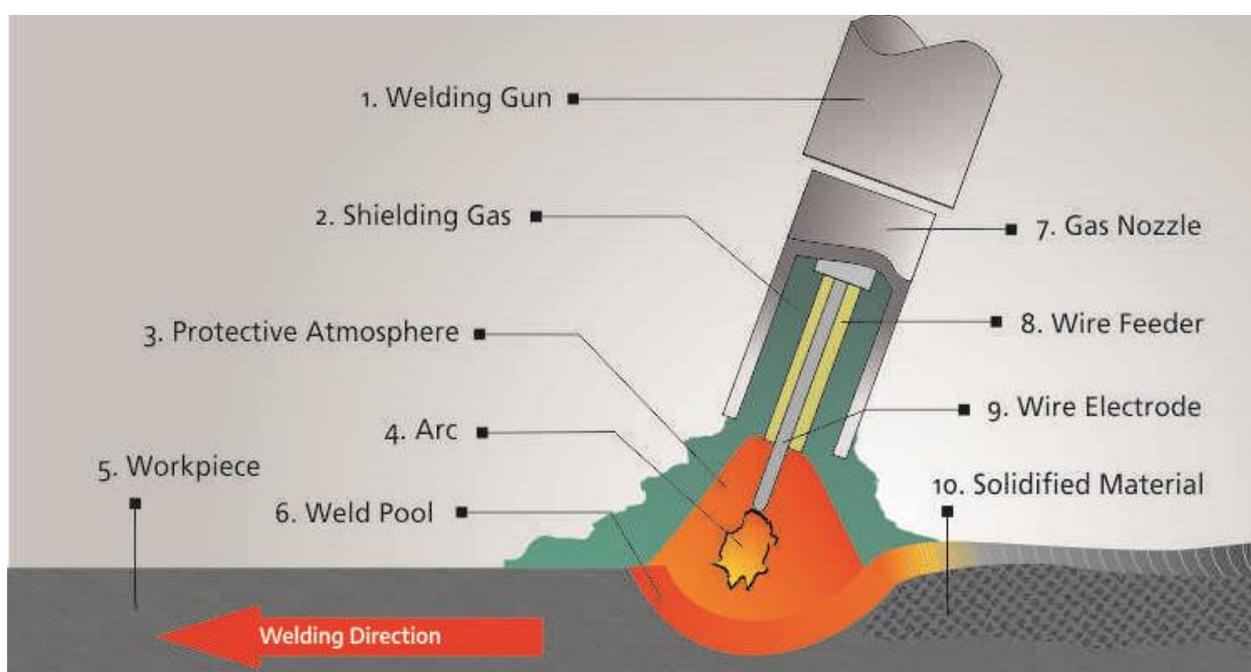


Рисунок 11 – Схема сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Недостатком сварки в защитных газах является значительное разбрызгивание, которое наблюдается по причине малой стабильности переноса электродного металла. Также при сварке существенно повышается опасность возникновения пор и трещин в сварном шве по причине малой текучести расплавленного металла, усложняется выполнение корневого слоя шва. Существенное повышение технологических возможностей способа достигается путем импульсного управления дугой, реализованной на многих образцах сварочной техники.

На рисунке 12 представлена схема сварки порошковой самозащитной проволокой. Опционально сварка может выполняться с применением дополнительной газовой защиты, что повышает качество выполняемых соединения и расширяет спектр применяемых сварочных проволок. «Сварка порошковой проволокой позволяет уменьшить затраты на изготовление сварочных материалов, так как существенно расширяются возможности для легирования металла шва без усложнения технологии изготовления проволоки. Также следует отметить существенное улучшение защиты зоны сварки по сравнению со сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения и производительности по сравнению с ручной дуговой сваркой» [18].

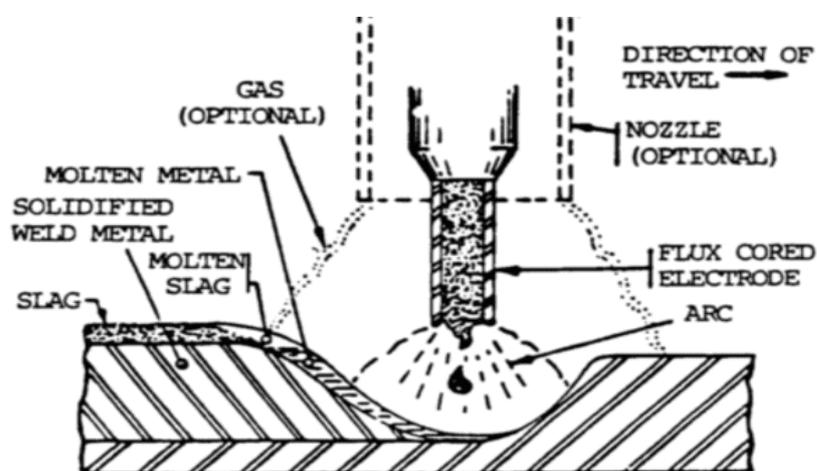


Рисунок 12 – Схема сварки порошковой самозащитной проволокой

В числе недостатков применения порошковой проволоки следует указать её повышенную мягкость, что снижает стабильность подачи при автоматической и роботизированной сварке. Также высокая текучесть расплавленного металла повышает сложность выполнения вспомогательных операций. Неравномерное плавление проволоки по сечению становится причиной просыпания части флюса в сварочную ванну и повышенной пористости металла сварного шва.

На основании вышеизложенного для составления проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения – механизированную и роботизированную.

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

«Ранее были сформулированы недостатки сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, проистекающие из самой природы сварочной дуги и особенностей переноса электродного металла. Значительных успехов удалось добиться при использовании импульсного управления, позволяющего обеспечить стабильность формирования на конце электродной проволоки и перехода в сварочную ванну капель расплавленного металла, динамическое воздействие на поверхность сварочной ванны, обеспечивающее выделение из расплавленного металла растворенных газов и измельчение структуры металла сварного шва» [8].

Для расширения технологических возможностей сварки предлагается применить разработку российских исследователей в области управления сварочной дугой, которая представлена в описании к изобретению [14]. На рисунке 13 представлена осциллограмма сварочного напряжения, представляющая собой группы импульсов, которые имеют ультразвуковую частоту и затухающую модуляцию.

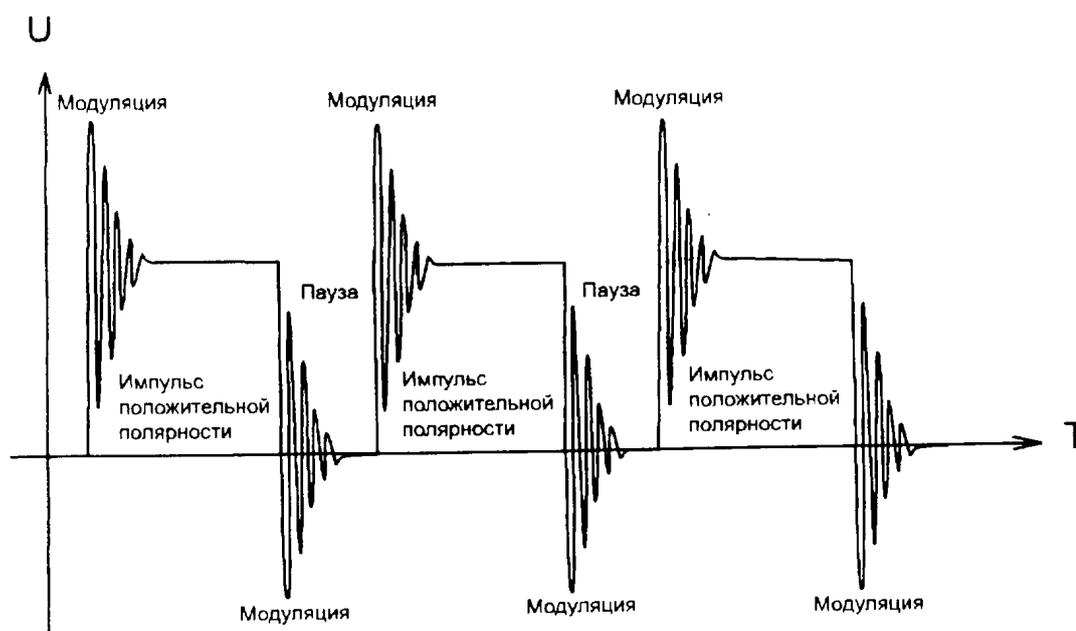


Рисунок 13 – Осциллограмма сварочного напряжения

Реализация способа происходит с применением модернизированного источника питания, функциональная схема которого представлена на рисунке 14. Работа модернизированного источника питания представлена в описании к изобретению «Напряжение источника электрической энергии 1 поступает на неуправляемый высокочастотный преобразователь 2, на котором производится преобразование напряжения источника электрической энергии в последовательность разнополярных прямоугольных импульсов с фиксированными длительностями импульса и паузы, следующих с частотой ультразвукового частотного диапазона. С выхода высокочастотного преобразователя 2 напряжение поступает на первичную обмотку высокочастотного импульсного трансформатора 3 с падающей вольтамперной характеристикой. Со вторичной обмотки трансформатора 3 преобразованное напряжение поступает на высокочастотный выпрямитель 4, с выхода которого сварочный ток поступает на сварочный электрод 5. В процессе поджига дуги и непосредственно при сварке в интервале расстояний от 0 до 10 мм между электродом и свариваемыми металлами независимо от этого расстояния за счет падающей вольтамперной характеристики трансформатора максимальное значение амплитуды тока в преобразователе поддерживается в диапазоне от 50% до 200% номинального значения, что позволяет отказаться от использования специальных устройств и электронных схем защиты силовых электронных ключей и удержания установленной величины сварочного тока. При этом высокочастотный преобразователь 2 работает без импульсных перегрузок при коротких замыканиях, что резко повышает надежность его работы» [14].

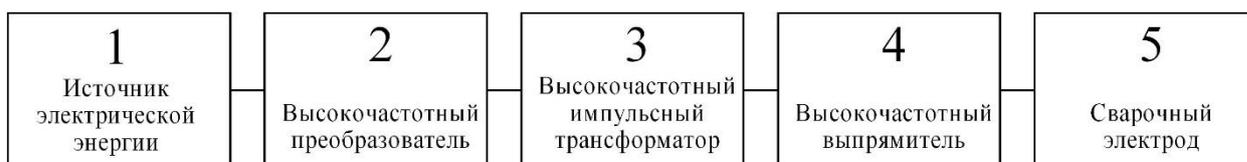


Рисунок 14 – Функциональная схема модернизированного источника питания

Электродная проволока может быть представлена в виде набора кристаллитов, внутри которых минимальное количество нарушений кристаллической решетки. Если обеспечить переход электродного металла в сварочную ванну с минимальным расплавлением кристаллитов, будет сохранена структура металла, а металл сварного шва будет характеризоваться мелкой зернистостью с минимальным термическим воздействием и негативными изменениями структуры. Подача сварочного напряжения в виде набора микроимпульсов позволяет обеспечить расплавление и переход расплавленного металла в виде микроскопических капель, сохраняющих структуру металла электрода. При этом на такую каплю оказывается силовое действие ультразвуковой волны, что позволяет интенсивно перемешивать сварочную ванну, удаляя растворенные в ней газы и загрязнения. Длительность импульсов сварочного тока составляет 2...20 мкс, пауза между импульсами составляет 0,3...18 мкс. Частота импульсов сварочного напряжения составляет 1...20 МГц. В результате металл сварного шва формируется с мелкозернистой структурой без пор и включений. Кроме того, отрывающиеся от электрода микроскопические капли металла уносят на себе значительную часть тепловой энергии, что захлаживает сварочный электрод, позволяет форсировать сварочные режимы и повысить производительность сварки, а также существенно повышает эффективный КПД процесса сварки, что позволяет экономить электрическую энергию.

Кроме того, применение предлагаемого способа сварки позволяет избежать опасности возникновения горячих трещин и использовать сварочную проволоку с различным составом легирования. Импульсное воздействие на каплю электродного металла улучшает затекание металла в узкий зазор, что обеспечивает качественное формирование корневого слоя шва. Также при сварке по указанному способу устраняется опасность прилипания проволоки к изделию и существенно повышается ресурс сварочной горелки, так как отсутствует разбрызгивание при выполнении сварного соединения.

### 2.3 Роботизация сборочных и сварочных операций при изготовлении ковша

Увеличение потребности российской промышленности в дорожно-строительной технике заставляет вести поиск решений по повышению производительности изготовления элементов техники. В настоящий момент на примере предприятия SMD «Smart Mechanical Devices», которое зарегистрировано в Российской Федерации в городе Екатеринбург, представлен стенд для роботизированной сварки ковшей строительной техники, который представлен на рисунке 15. Особенности конструкции стенда позволяют выполнять сварку деталей из различных сталей, которые применяются при изготовлении элементов ковша (сталь 09Г2С и сталь 10ХСНД) с учётом различной толщины сопрягаемых элементов. Применение роботизированной сварки позволяет устранить недостатки, присущие ручной дуговой сварке и механизированной сварке. Несмотря на то, что трудоемкость вспомогательных операций при роботизированной сварке выше, чем в случае применения ручного труда, повышение производительности и качества выполнения основной (сварочной) операции позволяет обеспечить эффективность производства.



Рисунок 15 – Стенд для роботизированной сварки ковшей

Сварочный роботизированный комплекс обеспечивает не только сварку, но и перемещение и надежную фиксацию элементов ковша с высокой точностью, что обеспечивает взаимозаменяемость ковшей и существенно снижает затраты труда при дальнейшем обслуживании техники. Для построения типового комплекса роботизированной сварки рассматриваемого изделия потребуется промышленный сварочный робот с шестью степенями подвижности, двухосевой позиционер детали, источник питания сварочной дуги и механизм подачи проволоки, контроллер сварочного робота, система обслуживания сварочной грелки, набор соединительных шлангов и кабелей.

Для позиционирования сварочной горелки относительно изделия служит сварочный робот. В качестве сварочного робота предлагается применить представленный на рисунке 16 робот производства корейской фирмы Fanuc Robotics робот AM-120iB,

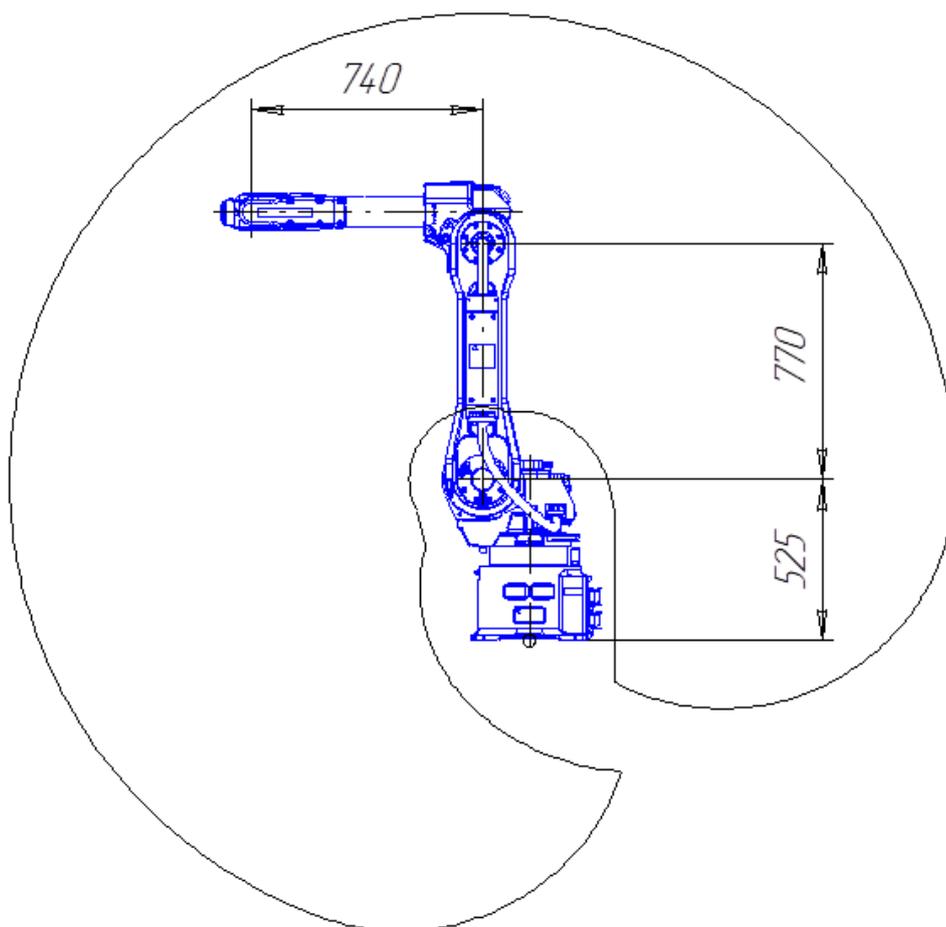


Рисунок 16 – Промышленный сварочный робот AM-120iB

Для перемещения заготовок и сваренного изделия применяется вспомогательный промышленный робот М-710iВ, который представлен на рисунке 17. В состав манипулятора промышленного робота входит базисное основание 1, относительно которого вращается карусель 2. На карусели с возможностью наклона установлено коромысло 3, на котором закреплено основание руки 4. Относительно основания руки 4 вращается рака 5 с кистью 6, кисть заканчивается вращающимся фланцем 8, на котором закреплена система объемного видения 7 и схват детали 9.

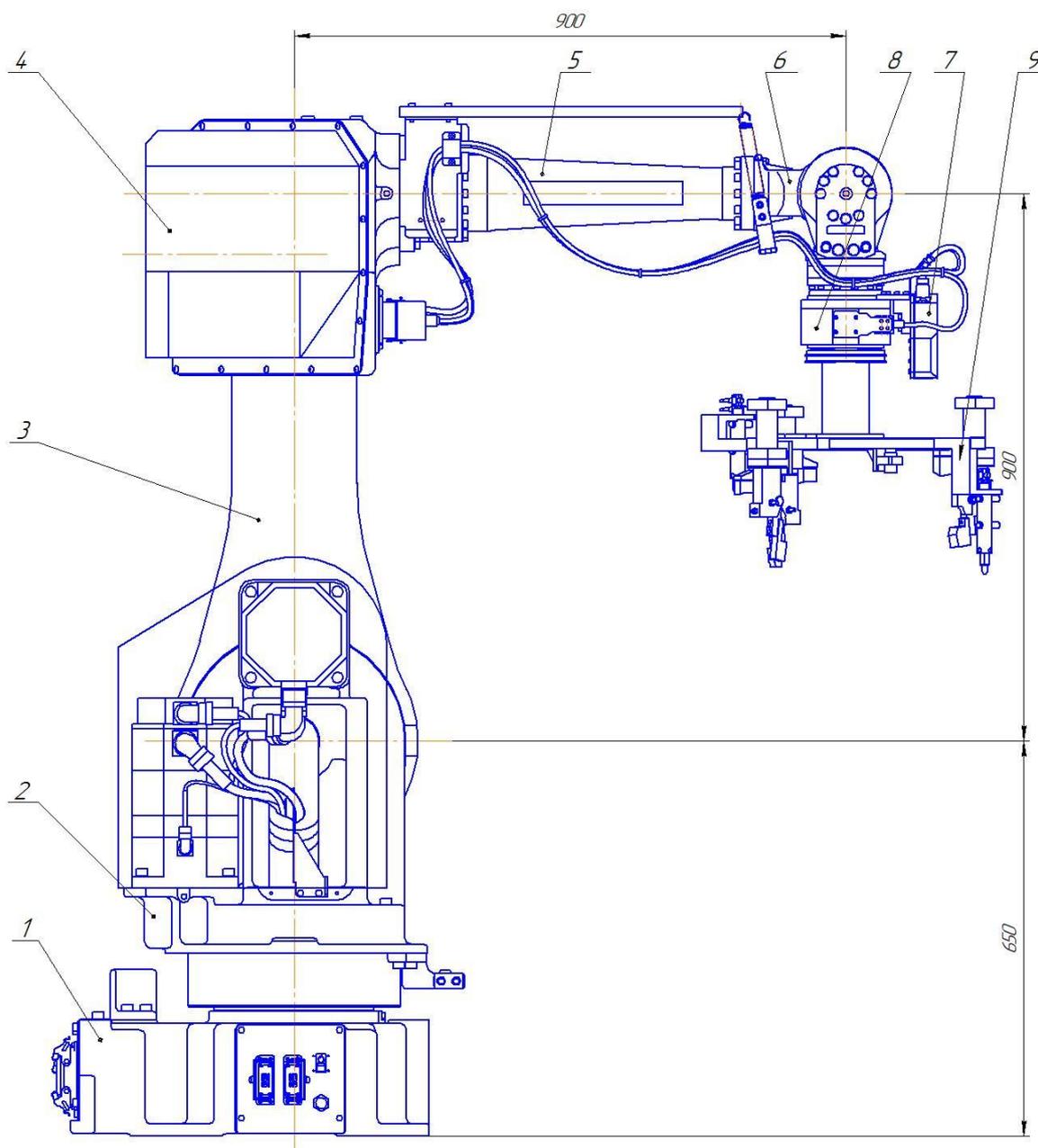


Рисунок 17 – Вспомогательный промышленный робот М-710iВ

Для позиционирования детали служит представленный на рисунке 18 поворотный стол, в состав которого входит основание 1, на котором с возможностью вращения установлена карусель 2, информация о положении которой относительно основания поступает от контактора 3. Для генерации вращающего момента карусели относительно основания служит прецизионный электрический двигатель 4 с редуктором. Конструкция карусели позволяет крепить на ней сборочную оснастку для заготовок ковша. Вращение элементов поворотного стола происходит при помощи сервомоторов, которые интегрированы в систему управления промышленным роботом. Модульная конструкция комплекса позволяет настраивать его на сварку деталей с габаритами от 2 до 8 метров. Для увеличения рабочей зоны промышленного робота применяется модуль линейного перемещения.

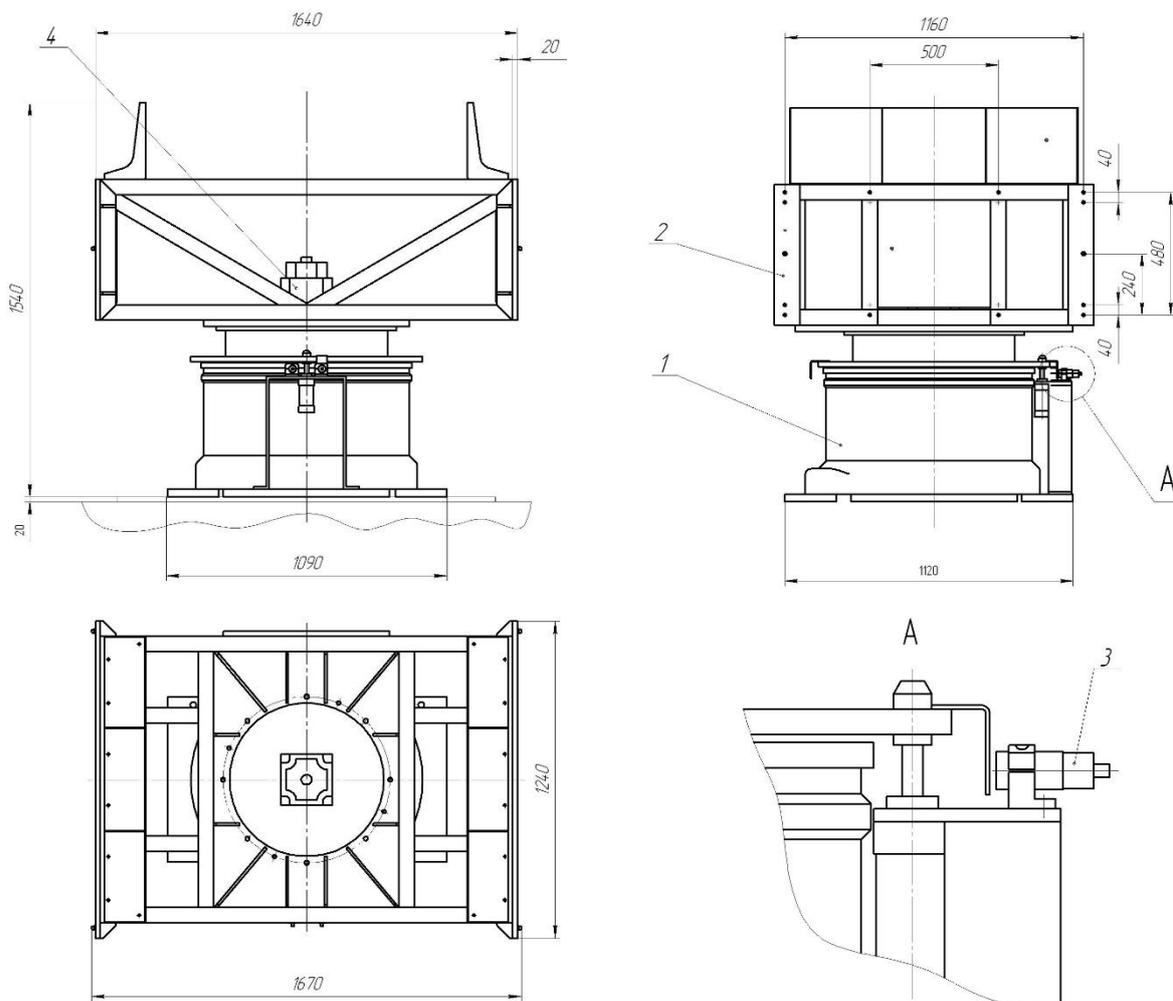


Рисунок 18 – Поворотный стол в сборе

Роботизированный комплекс на основе рассматриваемых элементов имеет возможность гибкого программирования под определенное изделие. Параметры сварки могут задаваться самостоятельно оператором.

Для питания сварочной дуги применяется представленный на рисунке 19-а источник Artsen Pro 500 PR Megmeet, который оснащен блоком подачи сварочной проволоки. Также сварочный источник снабжается микропроцессорным блоком водяного охлаждения сварочной горелки, который представлен на рисунке 19 и позволяет повысить интенсивность сварки без риска перегрева оборудования.



Рисунок 19 – Источник сварочного тока, блок подачи проволоки и блок водяного охлаждения

На рисунке 20 представлена комплектация сварочного робота с применением описанного выше оборудования для сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Применение сварочного источника питания Artsen Pro 500 PR Megmeet позволяет устранить разбрызгивание, обеспечивает пространственную стабильность дуги, простоту зажигания и высокую надежность горения дуги без залипания сварочной проволоки на изделие.

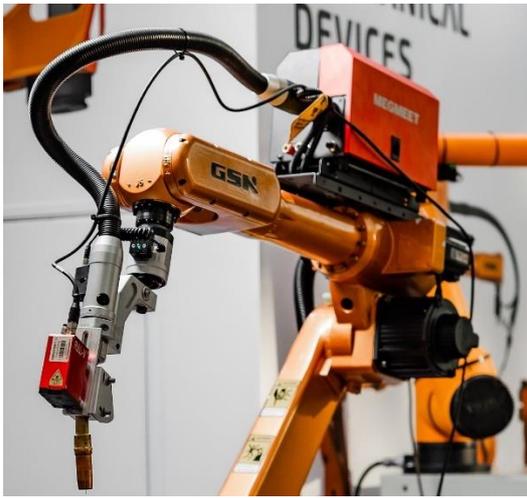


Рисунок 20 – Комплектация сварочного робота

Представленная на рисунке 21 станция обслуживания сварочной горелки обеспечивает автоматическое поддержание горелки в рабочем состоянии, для чего выполняется очистка её поверхности от забрызгивания металлом, обрезка конца сварочной проволоки и впрыскивание на горелку антипригарного состава.



Рисунок 21 – Станция обслуживания сварочной горелки SC200A GSK

На рисунке 22 представлен роботизированный технологический комплекс для сварки ковшей, в состав которого входит следующее оборудование. Комплекс окружен оградой 10, которая с одной стороны снабжена световым барьером, а с двух других сторон калитками с концевыми выключателями. Если через световой барьер или через калитку проникает человек, то такой случай считается несанкционированным попаданием на территорию роботизированного комплекса, и его работа автоматически прекращается, что позволяет избежать травматизма среди персонала. Комплекс снабжен двумя транспортерами-накопителями 11, посредством которых заготовки поступают на территорию комплекса и сваренные детали покидают территорию комплекса. Манипуляции с заготовками и сваренными деталями осуществляет вспомогательный робот 1, который принимает заготовки с транспортера накопителя 11, укладывает их на узел разворота оснастки 4, принимает сваренные детали с узла разворота оснастки 4 и укладывает их на транспортер-накопитель 11. Находящиеся на узле разворота оснастки 4 заготовки свариваются сварочным роботом 1, на который поступает сварочная проволока с кассеты 5, питание сварочной дуги с источника питания 6 и защитная газовая смесь с газовой аппаратуры 7. Автоматическое поддержание в рабочем состоянии сварочной горелки выполняется на стойке обслуживания горелки 3. Контроль положения сварочных и вспомогательных роботов выполняется посредством стоек концевых выключателей 8, на которые робот позиционируется после завершения программного цикла. Управление работой роботов осуществляется посредством шкафов управления 9, которые располагаются на периферии рабочего участка таким образом, что при программировании оператор не попадает в рабочую зону роботов, но при этом может беспрепятственно наблюдать их движения. При сварке сложных конструкций вспомогательный робот перекладывает заготовки с одного узла разворота оснастки на другой, что обеспечивает сварку одного изделия последовательно двумя сварочными роботами.

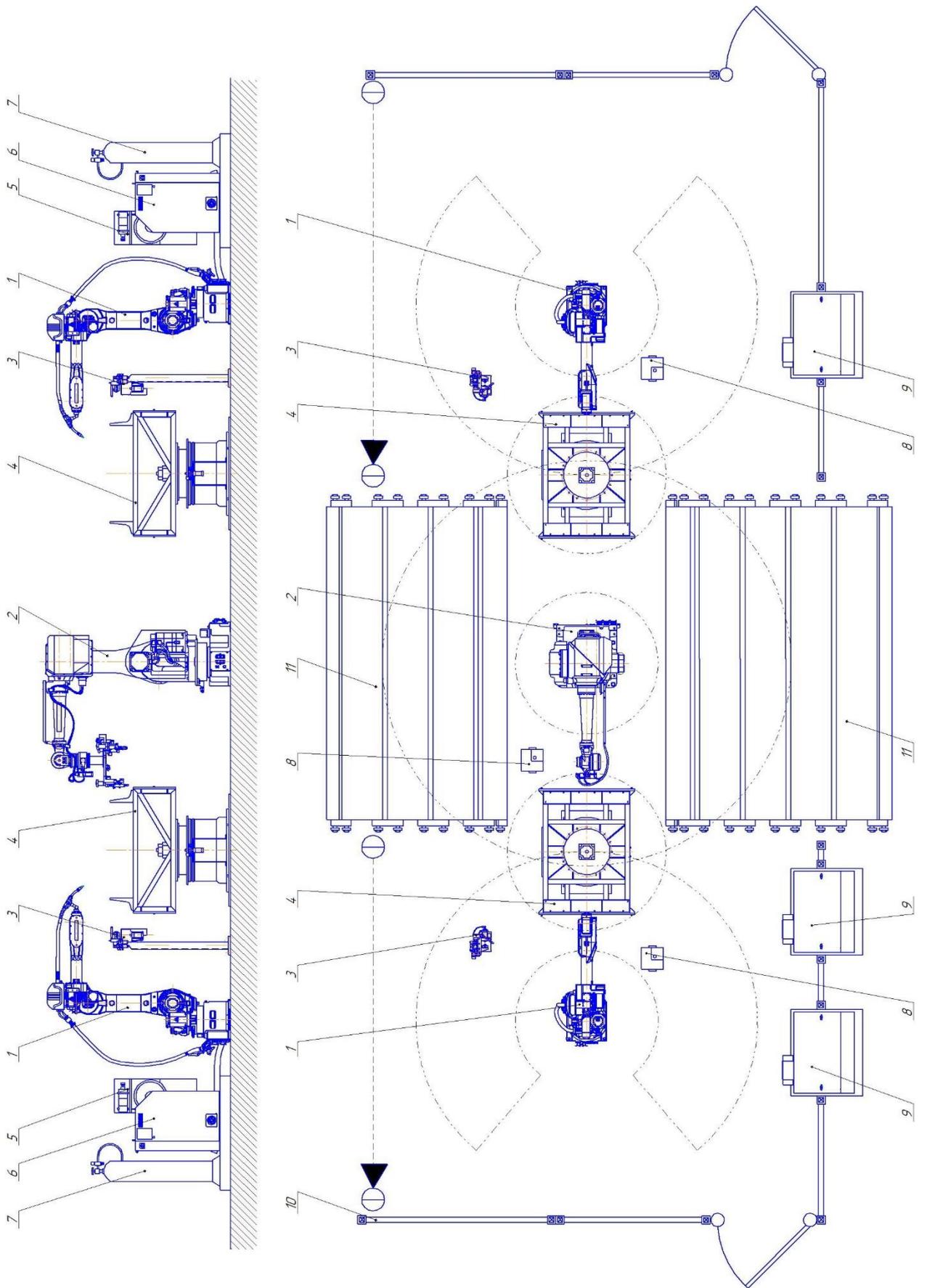


Рисунок 22 – Планировка РТК

Таким образом, предлагаемый в настоящей работе роботизированный комплекс при относительно небольших габаритах позволяет сваривать сложные конструкции и может оперативно перепрограммироваться под сварку новых изделий.

В случае сварки ковшей простой конструкции и с малыми габаритами вспомогательный робот укладывает заготовки на правый или левый узел разворота оснастки в зависимости от того, какой сварочный робот закончил цикл работы. Таким образом, выполняется параллельная работа роботизированного комплекса, когда каждый сварочный робот выполняет сварку своего изделия, т.е. на роботизированном комплексе происходит одновременная сварка двух ковшей. В случае выхода необходимости обслуживания одного сварочного робота или установки новой кассеты сварочной проволоки второй сварочный робот продолжает работу, что обеспечивает непрерывность работы роботизированного комплекса.

В случае сварки ковшей со значительными габаритами и сложным доступом к сварным швам работа роботизированного комплекса проходит в последовательном режиме. Одну часть сварных швов выполняет первый сварочный робот, после чего вспомогательный робот перекладывает заготовки на второй узел разворота оснастки, на котором второй сварочный робот доваривает швы. Таким образом, на роботизированном комплексе происходит последовательная одновременная сварка двух изделий.

Такая компоновка роботизированного комплекса обеспечивает его универсальность и непрерывность работы. Также следует отметить высокую надежность и ремонтпригодность комплекса и возможность оперативного перепрограммирования на изготовление новых деталей.

Так как при штатной работе комплекса участие оператора не требуется, решается вопрос безопасности труда и утомляемости сварщиков. Работа комплекса может быть переведена в двухсменный режим без ущерба для производительности.

## 2.4 Особенности проектной технологии сборки и сварки

Вспомогательные, подготовительные, сборочные и контрольные операции в проектном технологическом процессе выполняются аналогично базовому и описаны в предыдущем разделе настоящей выпускной квалификационной работы.

Изменения коснулись сварочных операций. Предварительно при сборке выполняется прихватка с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Далее происходит автоматическая сварка на роботизированном комплексе с применением сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения.

При прихвате и сварке применяется оборудование, описанные в предыдущем подразделе настоящей выпускной квалификационной работы. Для защиты сварочной ванны предлагается применить газовую смесь, в состав которой входит 70 % аргона 30 % углекислого газа,  $CO_2$  30%, на сварочный участок смесь поступает в баллонах, которые представлены на рисунке 23-а. В качестве сварочной проволоки предлагается применить представленную на рисунке 23-б проволоку L-56 производства Lincoln Electric диаметром 1,14 мм, которая позволяет получать плотные швы с высокими эксплуатационными показателями.



Рисунок 23 – Защитная газовая смесь (а) и сварочная проволока (б)

Прихватку и сварку ведут на режимах: сила сварочного тока 150...170 А при пиковом токе 400...420 А и базовом токе 35...55 А; расход защитного газа 10...12 литров в минуту, вылет сварочной проволоки 10...16 мм, скорость сварки составляет 2,2...4,3 метра в минуту.

С применением универсального сборочного приспособления выполняют сборку и прихватку деталей. 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. Длина прихватки составляет 30...50 мм при шаге между прихватками 100...250 мм в зависимости от места расположения прихваток и длины сварного шва. На каждый шов должно приходиться не менее двух прихваток при длине шва до 300 мм и не менее трех прихваток при длине шва до 500 мм. Прихватки для выполнения швов большей протяженности располагаются конструктивно с выполнением приведенных выше требований по длине и шагу между прихватками.

После выполнения сборки и прихватки элементов ковша он поступает на участок роботизированной сварки, где происходит автоматическое выполнение всех сварных швов на параметрах режима, указанных выше.

После выполнения сварки и остывания сварного шва следует выполнить очистку поверхности деталей от брызг расплавленного металла. Далее проводят визуальный контроль качества и ультразвуковой контроль качества, как это показано в предыдущем разделе при описании базовой технологии.

К ультразвуковому контролю приступают только после положительного решения по результатам визуального контроля.

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

## Выводы по второму разделу

Настоящая выпускная квалификационная посвящена решению вопроса, направленных на повышение эффективности сборки и сварки ковшей строительной техники на примере ковша бульдозера. В предыдущем разделе ВКР выполнена постановка задач, в настоящем разделе ВКР описано их решение с использованием современных достижений отечественной и мировой науки в области расширения технологических возможностей сварки.

На основании экспертной оценки выполнено обоснование выбора способа сварки, в качестве которого для построения проектной технологии предлагается применить сварку в защитных газах проволокой сплошного сечения. Для прихватки элементов предлагается применить механизированную сварку, для выполнения основной сварки предлагается применить средства роботизации.

Для расширения технологических возможностей сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения предлагается применить разработанный отечественными исследователями-сварщиками модернизированный источник питания, обеспечивающий перенос электродного металла ультрамалыми каплями импульсами напряжения ультразвуковой частоты. Такая сварка обеспечивает высокое качество выполнения корневого слоя шва и сварки в узкую разделку. Также существенно снижается расход электрической энергии и сварочных материалов, повышаются эксплуатационные свойства сварных швов. Высокая пространственная стабильность дуги обеспечивает простоту роботизации сварки изделия с применением предлагаемого способа.

Для роботизированной сварки предложен универсальный комплекс, позволяющий оперативно выполнять ремонт оборудования и перепрограммирование под сварку новых деталей.

Дальнейшие работы направлены на экологическое [2], [5] и экономическое [9], [10] обоснование предлагаемых решений, которые будут выполнены в оценочных разделах выпускной квалификационной работы

### **3 Трудовая и экологическая безопасность производственного участка**

#### **3.1 Постановка задачи на экологическое обоснование предлагаемых технических решений**

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности сварочного производства при изготовлении ковшей строительной техники. В ходе выполнения работы базовая технология, предусматривающая применение ручной дуговой сварки, кардинально изменена на прихватку с применением механизированной сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения и роботизированную сварку в защитных газах. Для расширения технологических возможностей выбранного способа сварки предлагается к внедрению разработка российских исследователей-сварщиков в области управления горением сварочной дуги и переносом электродного металла.

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы является оценочным и предусматривает выделение негативных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектного технологического процесса, которые могут оказать отрицательное влияние на персонал предприятия и окружающую среду. Кроме того, предлагается рассмотреть вопросы обеспечения пожарной безопасности производства, это объясняется тем, что процессы сварки и наплавки с точки зрения возникновения пожара характеризуются повышенной опасностью.

В таблице 2 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
«Входной контроль»	Дефектоскопист	кран-балка; набор строп; линейка металлическая 1000 мм; карманный фонарик, индикатор	рукавицы, маркер по металлу
Правка	Слесарь-сборщик	листоправильная машина LP4-30-3000; линейка металлическая 1000 мм; угольник; капроновая струна	маркер по металлу
Разметка и резка	Слесарь-сборщик	ножницы гильотинные НГ-3225.02; металлическая рулетка; металлическая линейка 1000 мм; угольник; чертилка	рукавицы, маркер по металлу
Сборка и прихватка	Слесарь-сборщик, электросварщик	универсальная сборочная оснастка; модернизированный источник питания Arsten Plus Megmeet 3500; механизм подачи проволоки; угловая шлифовальная машинка	проволока L-56 Ø 1,14 мм; защитная смесь Ar+CO
Сварка	Электросварщик	сварочный робот AM 120iB; источник питания Arsten Plus Megmeet 350D; Механизм подачи проволоки; блок водяного охлаждения; вращатель детали; вспомогательный робот M-710iB; стойка обслуживания сварочной горелки	проволока L-56 Ø 1,14 мм; защитная смесь Ar+CO
Контроль качества» [18]	Дефектоскопист	набор визуально-измерительного контроля; ультразвуковой дефектоскоп А-1214; набор стандартных образцов для УЗК	масло

Данные таблицы 2 позволяют идентифицировать возникающие в процессе реализации проектной технологии негативные производственные факторы.

### 3.2 Профессиональные риски

Реализация операций проектного технологического процесса с использованием оборудования и материалов, представленных в таблице 2, приводит к возникновению негативных производственных факторов, применительно к персоналу играющие как опасную, так и вредную роль. 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 3 представлена информация о возникающих в ходе реализации проектной технологии опасных и вредных производственных факторах.

Таблица 3 – Негативные производственные факторы проектной технологии

Операция	Негативный фактор
Входной контроль	«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]
Правка	«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; нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых деталей до высоких температур» [5]
Разметка и резка	«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» [5]
Сборка и прихватка	«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; нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, свариваемых деталей до высоких температур; ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне; инфракрасное излучение в рабочей зоне; брызги расплавленного металла» [5]
Сварка	
Контроль качества	«повышенный уровень ультразвуковых волн» [5]

Источниками негативных производственных факторов выступает сварочное оборудование и непосредственно открыто горящая сварочная дуга.

### 3.3 Устранение профессиональных рисков

Ранее составленный перечень негативных производственных факторов, оказывающих влияние на персонал предприятия в ходе реализации проектного технологического процесса, заставляет применять технические средства и организационные мероприятия, направленные на нейтрализацию опасного и вредного действия на персонал. В таблице 4 представлены предлагаемые средства по обеспечению производственной безопасности, реализация которых предусматривает применение стандартных средств и методик из арсенала современного промышленного предприятия.

Таблица 4 – 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]

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. Представленный перечень опасных и вредных производственных факторов является стандартным набором, сопровождающим реализацию технологических процессов на современном предприятии, нейтрализация которого не должна встретить значительных затруднений. Разработка специальных технических средств и методик для обеспечения безопасности труда не требуется.

### **3.4 Пожарная безопасность предприятия**

Процессы сварки и наплавки характеризуются повышенной опасностью возникновения 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 5 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 6 представлен предлагаемый набор средств, направленных на обеспечение пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка.

Таблица 5 – 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 6 – 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
Пожарная 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

В настоящее время модернизация сварочного производства направлено не только в сторону повышения эффективности технологических процессов и улучшения экономических показателей, но и в сторону решения задач по обеспечению экологической безопасности. Сварочное производство характеризуется негативным действием на природные составляющие – гидросферу, литосферу и атмосферу. Защита природы от антропогенного действия со стороны рассматриваемого производственного участка обеспечивается рядом мероприятий, представленных в таблице 7.

Таблица 7 – 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]

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. 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**

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы является оценочным и позволяет рассмотреть применимость предложенных ранее технических решений на современном предприятии с точки зрения обеспечения безопасности труда и экологической безопасности.

На основании рассмотренных особенностей реализации проектного технологического процесса выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, оказывающих действие на персонал при выполнении операций проектного технологического процесса. 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, выполнена оценка рисков, возникающих при пожаре, предложены меры по обеспечению пожарной безопасности и тушению возникающих пожаров.

В работе затронуты вопросы обеспечения экологической безопасности промышленного производства, предложен ряд мероприятий по соблюдению экологической ответственности участников технологического процесса и снижению антропогенного действия на окружающую среду.

## **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 расходных элементов для строительной техники. 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 за счёт применения промышленных роботов. 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 8. Значения коэффициентов, необходимых для расчётного определения показателей технологии, представлены в таблице 9. На основании представленных данных, показателей базовой и проектной технологии, предстоит оценить величину технологической, цеховой и заводской себестоимости в рассматриваемых вариантах, объём капитальных вложений и изменение экономических параметров с выходом на оценку годового экономического эффекта [10].

Таблица 8 – Количественные показатели для экономического анализа

Показатель	Обозначение	Единицы измерения	Значение (базовый вариант)	Значение (проектный вариант)
«Стоимость оборудования	$C_{об}$	руб.	500 тыс.	7500 тыс.
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	20	60
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	300	300
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	$(P/m^2)/год$	2000	2000
Цена производственных площадей» [10]	$C_{пл}$	$P/m^2$	30000	30000

Таблица 9 – 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	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3 5
Норма амортизации площади	$H_{а.пл.}$	%	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» [10]	$K_{зав}$	-	1,15

Основным отличием, определяющим эффективность проектной технологии по сравнению с базовым вариантом, является замена способа сварки с применением передовых достижений сварочной науки. Кроме того, за счёт роботизации ожидается повышение производительности труда. Поэтому 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  $F_3$ . 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  $F_3$  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  $D_{п}=7$  дней. При этом в предшествующий день продолжительность рабочей смены уменьшается на величину  $T_{п}=1$  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» [10]

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

Эффективный фонд времени  $F_3$  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

$$F_3 = F_n(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Таким образом, расчёты проводим с величиной  $F_3 = 2054$  часов. Эта же величина «будет использована для расчётного определения экономических показателей при сопоставительном анализе рассматриваемых вариантов технологии» [10].

### 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  $t_{маш}=7,4$  часа, проектный вариант характеризуется  $t_{маш}=2,1$  часа. Также в состав штучного времени включено вспомогательное время  $t_{всп}$  в размере 10 % от  $t_{маш}$ . В случае реализации базовой технологии  $t_{всп}=0,74$  час, в случае реализации проектной технологии  $t_{всп}=0,07$  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  $t_{обсл}=0,37$  часа. В случае, если на производственном участке реализуется проектный вариант технологии, следует принимать  $t_{обсл}=0,035$  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  $t_{отд}=0,37$  часа. При реализации на производственном участке проектного варианта принимают  $t_{отд}=0,035$  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  $t_{пз}=0,07$  часа для базового варианта и  $t_{пз}=0,007$  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  $\Pi_r$  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. Годовая программа  $\Pi_r$  с учетом  $F_3$  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. Исходя из потребности производства принимаем  $\Pi_r = 200$  изделий для обоих вариантов. 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  $\Pi_r$ , 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 и проектного вариантов  $n_{расч} = 9 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$  и  $n_{расч} = 2,5 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,1$ . Таким образом, для обоих рассматриваемых вариантов принимается количество оборудования  $n=1$ , поэтому определим коэффициент загрузки

$$K_3 = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При реализации базового и проектного вариантов технологического процесса коэффициент загрузки оборудования составляет  $K_3 = 0,4/1 = 0,4$  и  $K_3 = 0,1/1 = 0,1$ . Что будет использовано в дальнейшем при расчётах.

#### 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  $C_{зав}$ , определяемая расчётным путем через технологическую себестоимость  $C_{тех}$ . 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  $K_{тз}=1,05$ » [10]:

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

Для принятых в настоящей работе исходных данных реализация базового технологического процесса предусматривает затраты на материалы в размере  $M=(500 \cdot 7,5+600 \cdot 2,8) \cdot 1,05 = 5701$  рублей. В проектном технологическом процессе рассчитываемые затраты на материалы составляют  $M=(300 \cdot 6,4+3000 \cdot 0,48) \cdot 1,05 = 3360$  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  $Z_{\text{осн}}$  используется в дальнейшем для определения цеховых и заводских затрат, с учётом исходных данных получаем

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

Реализация базового процесса предусматривает размер основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}=9 \cdot 300 \cdot 1,88 = 5076$  рублей. Реализация проектного процесса предусматривает размер основной заработной платы составит  $Z_{\text{осн}}=2,5 \cdot 300 \cdot 1,88 = 1410$  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  $Z_{\text{доп}}$ , который рассчитывается как

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

Для базовой технологии основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}=5076$  рублей, поэтому размер дополнительной заработной платы с учётом коэффициента  $K_{\text{доп}}$  составляет  $Z_{\text{доп}}=5076 \cdot 0,12=609$  рублей. Для проектной технологии  $Z_{\text{осн}}=1410$  рублей, поэтому с учётом коэффициента  $K_{\text{доп}}$  размер дополнительной заработной платы составляет  $Z_{\text{доп}}=1410 \cdot 0,12 = 169$  рублей.

Суммирование основной заработной платы и дополнительной заработной платы, если на рассматриваемом производственном участке реализуется базовый вариант ФЗП= $5076 + 609 = 5685$  рублей. В случае, если на рассматриваемом производственном участке реализуется проектный вариант ФЗП= $1410 + 169 = 1579$  рублей.

Отчисления на социальные нужды  $O_{cc}$  определяются исходя из значения фонда заработной платы ФЗП и принимаемого из таблицы исходных данных коэффициента отчислений  $K_{ch}$

$$O_{ch} = \text{ФЗП} \cdot K_{ch}. \quad (10)$$

При реализации на рассматриваемом производственном участке базовой технологии получаем  $O_{ch}=5685 \cdot 34/100 = 1933$  рублей. При реализации на рассматриваемом производственном участке проектной технологии получаем  $O_{ch}=1579 \cdot 34/100 = 537$  рублей.

Для того, чтобы вычислить величину амортизационных отчислений  $A_{об}$  понадобится значение стоимости оборудования  $C_{об}$  из таблицы исходных данных. При «реализации на производственном участке базового варианта  $C_{об}=5000000$  рублей. При реализации на производственном участке проектного варианта  $C_{об}=7500000$  рублей. Также в качестве исходных данных служит машинное время  $t_{маш}$ , которое для базового и проектного варианта принимается соответственно как  $t_{маш}=7,4$  часа и  $t_{маш}=2,1$  часа» [10]. Для обоих вариантов технологии принимается ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени работы оборудования  $F_3=2054$  часа. Значение нормы амортизации  $N_a$  принимается из таблицы исходных данных  $N_a=21,5$  %. Таким образом, амортизационные отчисления рассчитываются как

$$A_{об} = \frac{C_{об} \cdot N_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (11)$$

и при реализации базового технологического процесса составляют с учётом исходных данных  $A_{об}=500000 \cdot 21,5 \cdot 7,4/2054/100 = 387$  рублей, при реализации проектного технологического процесса с учётом исходных данных амортизационные отчисления  $A_{об}=7500000 \cdot 21,5 \cdot 2,1/2054/100 = 1649$  рублей.

Ещё одной статьей расходов, учитываемой при определении технологической и заводской себестоимости, является расходы на электрическую энергию  $P_{э}$ . Для расчётного определения понадобится цена на

электрической энергии  $\Pi_{эл}$ , которая из таблицы исходных данных принимается  $\Pi_{эл}=3,4$  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  $M_{уст}=20$  кВт, установленная мощность оборудования при реализации проектного процесса составляет  $M_{уст}=60$  кВт. Таким образом, при использовании формулы

$$P_{эз} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{эз} / \text{КПД}. \quad (12)$$

для базового варианта технологического процесса получаем стоимость электрической энергии  $P_{эз} = 7,4 \cdot 20 \cdot 3,4 / 0,7 = 719$  рубля. При реализации проектного процесса расходы на электрическую энергию следует ожидать в размере  $P_{эз} = 2,1 \cdot 60 \cdot 3,4 / 0,85 = 504$  рубля.

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

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

который при реализации базового технологического процесса принимаем значение  $Z_{об} = 387 + 719 = 1106$  рубля и при реализации проектного технологического процесса принимает значение  $Z_{об} = 1649 + 504 = 2153$  рубля.

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

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

Реализация базовой технологии характеризуется  $C_{тех} = 5701 + 5685 + 1933 + 1106 = 14425$  рубля. Реализация проектной технологии характеризуется технологической себестоимостью  $C_{тех} = 3360 + 1579 + 537 + 2153 = 7629$  рубля.

Для наглядного представления состава технологической себестоимости построены сравнительные диаграммы, представленные на рисунке 24. 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» [10].

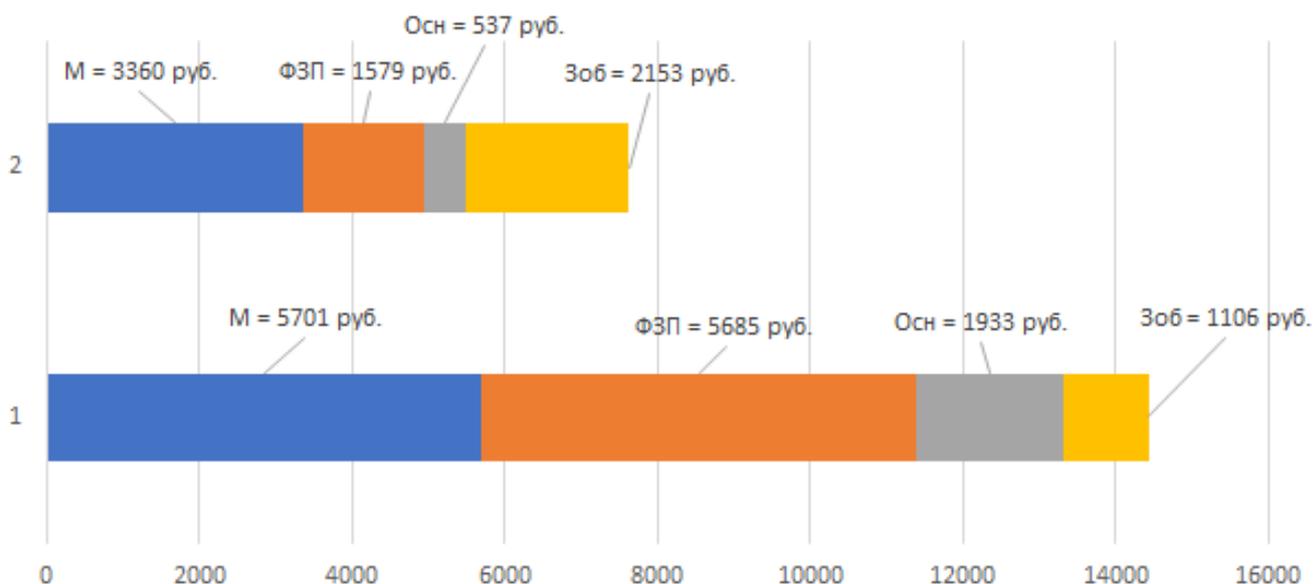


Рисунок 24 – Структура технологической себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологии

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

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

С учетом введенных данных для базового варианта получаем  $C_{\text{цех}} = 14425 + 1,5 \cdot 5076 = 14425 + 7614 = 22039$  рубля. В случае, если на производственном

участке реализуется проектный вариант, размер цеховой себестоимости составит  $C_{\text{цех}}=7629 + 1,5 \cdot 1410 = 7629 + 2115 = 9744$  рубля.

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

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

При реализации базового варианта технологического процесса размер заводской себестоимости составит  $C_{\text{зав}}=22039+1,15 \cdot 5076=22039+5837=27876$  рубля. В случае реализации на производственном участке проектного процесса размер цеховой себестоимости составит  $C_{\text{цех}}=9744+1,15 \cdot 1410 = 9744+1622 = 11366$  рубля. Сравнительная оценка рассматриваемых вариантов технологии может быть выполнена с использованием сведенных в таблицу 10 данных по составляющим заводской себестоимости. Графическое представление состава заводской себестоимости по рассматриваемым вариантам, представленное на рисунке 25, позволяет выполнить сравнительный анализ каждой статьи расходов.

Таблица 10 – Расчёт заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	5701	3360
2. Фонд заработной платы	ФЗП	5685	1579
3. Отчисления на соц. нужды	О <sub>сн</sub>	1933	537
4. Затраты на оборудование	Z <sub>об</sub>	1106	2153
5. Технологическая себестоимость	C <sub>тех</sub>	14425	7629
6. Цеховые расходы	P <sub>цех</sub>	7614	2115
7. Цеховая себестоимость	C <sub>цех</sub>	22039	9744
8. Заводские расходы	P <sub>зав</sub>	5837	1622
9. Заводская себестоимость» [11]	C <sub>зав</sub>	27876	11366

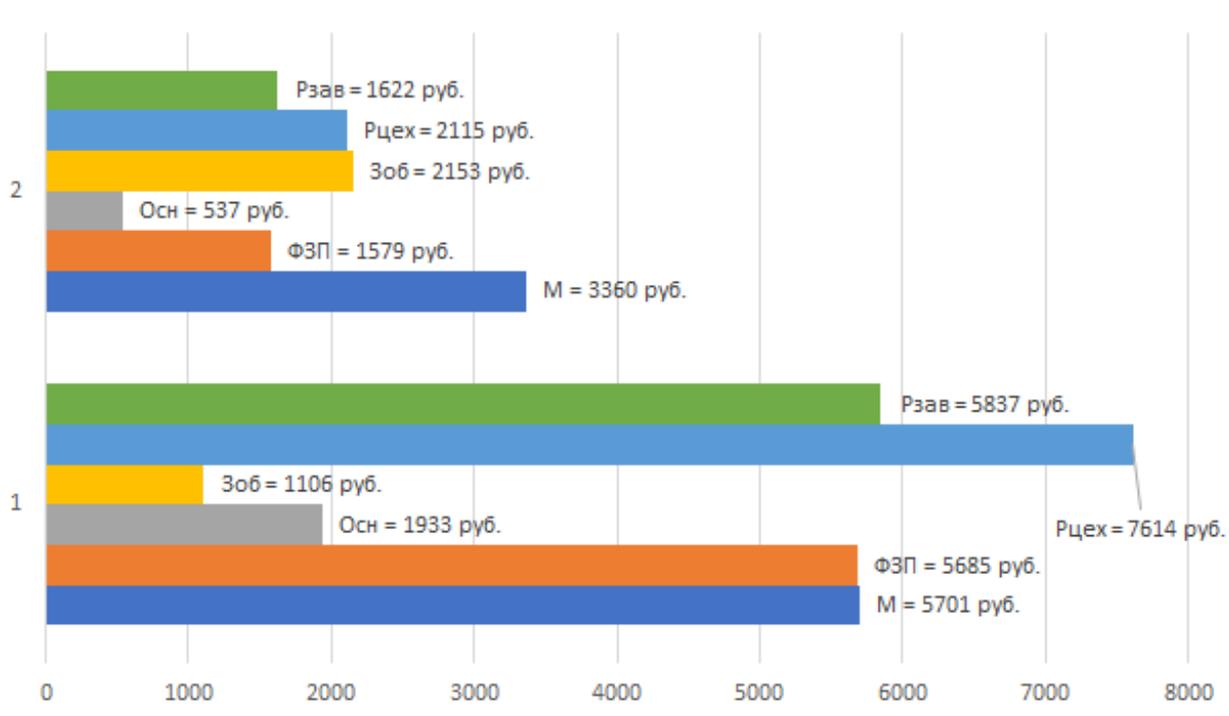


Рисунок 25 – Сравнительная диаграмма составляющих заводской себестоимости при реализации базового и проектного вариантов технологического процесса

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.

Таким образом, проведенный графический анализ позволяет заключить, что применение предлагаемых в настоящей работе нововведений изменяет состав технологической себестоимости. Значительное количество статей расходов в проектной технологии меньше, чем аналогичные статьи расходов в базовой технологии. Также следует отметить уменьшение размеров основной заработной платы, что положительно сказалось на размерах цеховых и заводских расходов, что, в конечном итоге, определило уменьшение заводской стоимости. Для окончательного расчёта показателей повышения экономической эффективности необходимо определиться со значением капитальных затрат, которые будут рассчитаны ниже.

## 4.5 Капитальные затраты

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

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

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

Ранее для рассматриваемых вариантов технологии был выполнен расчёт коэффициента загрузки оборудования  $K_z$ , который позволяет оценить капитальные затраты по базовому варианту» [10]

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

В случае, если на производственном участке реализуется проектная технология, капитальные затраты на оборудование  $K_{об.пр}$  вычисляются с использованием ранее определенного «коэффициента загрузки оборудования  $K_z=0,1$ , принятого из таблицы исходных данных коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{tz}=1,05$  и цены оборудования  $C_{об.пр.}=7500000$  рублей» [10]:

$$K_{об.пр.} = C_{об. пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{зп.} \quad (19)$$

Получаем  $K_{об.пр} = 7500000 \cdot 1,05 \cdot 0,1 = 787500$  рублей.

При вычислении расходов  $R_{дем}$  на демонтаж оборудования, задействованного на производственном участке для реализации базовой

технологии, необходимо учесть цену оборудования  $C_{об.б}$  и коэффициента расходов на демонтаж  $K_{дем}$ , его принимаем из таблицы исходных данных

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

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

$$P_{монт} = C_{об. пр.} \cdot K_{м} = 7500000 \cdot 0,05 = 375000 \text{ рублей.} \quad (21)$$

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

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт} = 25000 + 375000 = 400000. \quad (22)$$

«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» [10]  $K_{соп}$

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{соп.} = 787500 + 400000 = 1187500 \text{ рублей} \quad (23)$$

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

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб} = 1187500 - 114000 = 1073500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

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

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

Если на производственном участке реализуется базовая технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как  $K_{уд} = 114000/200 = 570$  рублей. Если на производственном участке реализуется проектная технология, то размер удельных капитальных вложений определяется как  $K_{уд} = 1187500/200 = 5937$  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  $\Delta t_{шт}$ , повышение производительности труда  $\Pi_T$ , снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , условно годовую экономию  $\Delta_{уг}$ , срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{ок}$  и годовой экономический эффект  $\Delta_T$ » [10].

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

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

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

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

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  $C_{\text{тех.б}}=14425$  рубля. В случае выполнения операций согласно проектного варианта технологии принимается  $C_{\text{тех.пр}}= 7629$  рубля

$$\Delta C_{\text{тех}}=(C_{\text{тех.б.}}- C_{\text{тех.пр.}})\cdot 100\%/C_{\text{тех.б.}} = (14425- 7629)\cdot 100\% / 14425 = 47 \% \quad (28)$$

Для оценки размеров условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  следует в качестве исходных данных принять ранее определенную годовую программу  $\Pi_{\Gamma}=200$ . Условно-годовая экономия получается из разности заводских себестоимостей по рассматриваемым вариантам. В случае реализации на производственном участке базовой технологии принимается  $C_{\text{зав.б}}=27876$  рубля. В случае реализации на производственном участке проектной технологии принимается  $C_{\text{зав.пр}}=11366$  рубля

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}})\cdot \Pi_{\Gamma} = (27876 - 11366)\cdot 200 = 3302000 \text{ рублей.} \quad (29)$$

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

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 1073500 / 3302000 = 0,3 \text{ года.} \quad (30)$$

В случае реализации на рассматриваемом производственном участке технологического процесса с внесенными изменениями совокупная экономическая эффективность оценивается по годовому экономическому эффекту  $\mathcal{E}_{\Gamma}$ . Для расчётного определения этой величины необходимо в качестве исходных данных принять ранее рассчитанную условно-годовую

экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  и ранее рассчитанную величину дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}}$ . Из таблицы исходных данных принимается значение нормативного коэффициента окупаемости затрат  $E_{\text{н}}$

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 3302000 - 0,33 \cdot 1073500 = 2947745 \text{ рубля.} \quad (31)$$

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.

Предлагаемый роботизированный комплекс обеспечивает быструю переналадку при изменении конструкции изделия, что позволяет выполнять на нем сварку ковшей для различной техники. Помимо выполнения запланированного объема работ за счёт повышения производительности и снижения коэффициента загрузки оборудования предприятие может получить новые заказы, увеличивая годовую программу. В этом случае следует ожидать кратного уменьшения удельных капитальных вложений, роста ожидаемой экономии и годового экономического эффекта. Также следует принимать во внимание, что снижение трудоемкости позволяет не только повысить качество работ, но и уделить большее внимание экологической компоненте.

На базе предприятия в дальнейшем предлагается организация регионального центра по производству навесного оборудования.

## Выводы по экономическому разделу

В экономическом разделе выполнено обоснование эффективности внедрения в современное производство предлагаемых решений. За счёт применения более прогрессивных методов ожидается снижение трудоёмкости на 72 % и повышение производительности труда на 257 %. Повышение производительности труда позволяет в значительной степени уменьшить фонд заработной платы и коэффициент загрузки оборудования, что положительно сказывается на большинстве рассчитываемых показателей эффективности технологии. За счёт снижения расходов по ряду составляющих ожидается значительное уменьшение технологической себестоимости выполнения работ, которое составляет 47 %. Происходит уменьшение величины цеховых и заводских расходов, приводящее к снижению заводской себестоимости, условно-годовая экономия ожидается в размере 3,3 млн. рублей. Внедрение предлагаемых решений требует дополнительных капитальных вложений в размере 1,07 млн. рублей, срок окупаемости которых составляет 0,3 года. При реализации предлагаемых изменений годовой экономический эффект ожидается в размере  $\Delta \Gamma = 2,95$  млн. рублей. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что внедрение предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений целесообразно, так как вместе с технологическим эффектом, выражающимся в повышении производительности и качества работ, возникает экономический эффект, выражающийся в улучшении показателей производства. 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. На базе предприятия в дальнейшем предлагается организация регионального центра по производству навесного оборудования, это позволит не только многократно усилить экономический эффект, но и получить социальный эффект, решая макроэкономические задачи.

## Заключение

Выпускная квалификационная работа направлена на повышение эффективности предприятий Российской Федерации, выполняющих работы по поддержанию работоспособности строительной техники. В качестве объекта исследования принята технология сборки и сварки навесного оборудования на примере ковша бульдозера. Анализ базовой технологии, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки штучными электродами, позволил сформулировать недостатки, устранение которых обеспечивает достижение поставленной во введении цели. В ходе анализа исходных данных и известных решений удалось выполнить постановку задач.

При решении первой задачи проведена оценка альтернативных способов сварки обосновано применение сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения, позволяющей обеспечить повышение эффективности предприятия.

При решении второй задачи для расширения технологических возможностей сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения предлагается применить разработанный отечественными исследователями-сварщиками модернизированный источник питания, обеспечивающий перенос электродного металла ультрамалыми каплями импульсами напряжения ультразвуковой частоты. Такая сварка обеспечивает высокое качество выполнения корневого слоя шва и сварки в узкую разделку. Также существенно снижается расход электрической энергии и сварочных материалов, повышаются эксплуатационные свойства сварных швов. Высокая пространственная стабильность дуги обеспечивает простоту роботизации сварки изделия с применением предлагаемого способа.

При решении третьей задачи составлена планировка роботизированного технологического комплекса, который позволяет выполнять сварку типовых деталей, при этом переход на сварку деталей изменённой конструкции не сопровождается значительными издержками.

При решении четвертой задачи составлена проектная технология, которая может быть применена рядом организаций, ведущих работы по обслуживанию строительной техники на территории Российской Федерации.

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.

В экономическом разделе выполнено обоснование эффективности внедрения в современное производство предлагаемых решений. За счёт применения более прогрессивных методов ожидается снижение трудоёмкости на 72 % и повышение производительности труда на 257 %. При реализации предлагаемых изменений годовой экономический эффект ожидается в размере  $E_{г} = 2,95$  млн. рублей. Экономический эффект будет мультиплицирован при внедрении предлагаемых решений изготовления других деталей, а так же при комплексном внедрении на нескольких предприятиях.

На базе предприятия в дальнейшем предлагается организация регионального центра по производству навесного оборудования, это позволит не только многократно усилить экономический эффект, но и получить социальный эффект, решая макроэкономические задачи.

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

Затронутая в представленной выпускной квалификационной работе тема должна получить дальнейшее развитие при выполнении магистерской диссертации в ходе обучения на кафедре сварки.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. А. с. 448106 СССР, В 23 к 35/38. Защитная газовая смесь / Б.Е. Патон, А.В. Кирсанов, В.В. Подгаецкий и др. – Приор. 26.06.72. Оpubл. 30.10.74; Бюл. № 40.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Волченко В. Н. Контроль качества сварных соединений. М : Машиностроение, 1986. 172 с.
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. Демиденко А. И., Гатыч К. Ю. Расчет усилий копания рабочим оборудованием бульдозера // Вестник СибАДИ, выпуск 2 (54). 2017. Омск: СибАДИ. 2017. С.17–22.
7. Крампит А. Г. Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного о Гладков Э.А. Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: Издательский центр "Академия", 2006. 432 с. борудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. № 7. 2016. С. 18-23.
8. 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.
9. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
10. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

11. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45-51.
12. Маковецкая О. К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных сварочных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54-61.
13. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. № 11. 2014. С. 16-23.
14. Патент РФ 2253551. Способ дуговой сварки и устройство для дуговой сварки МКИ В23К9/10 / А. Б. Леонтьев, В. Ф. Горячев, Н. А. Шам // Заявл. 17.02.2003; Оpubл. 10.06.2005. Бюл. № 16, 10 с.
15. Позняков, В.Д. Микроструктурные особенности усталостной повреждаемости и способы повышения долговечности сварных соединений стали 09Г2С / В.Д. Позняков, В.А. Довженко, С.Б. Касаткин [и др.] // Автоматическая сварка. – 2012. – № 5. – С. 32–37.
16. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34-42.
17. Сидорец В. Н., Жерносеков А. М., Рымар С. В. Импульсно-дуговая сварка как основа современных технологий сварки плавящимся электродом // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 221–225.
18. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. М. : Лань. 2019. 268 с.
19. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
20. Сурашов Н. Т., Асматулаев Р. Б., Толымбек Д.Н. Определение оптимальных конструктивных параметров отвала бульдозера // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2022. №. 4. С. 500-513.