

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 Наплавка шкива кабельного барабана

Обучающийся

А.А. Якунин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В настоящее время отечественный производитель решает задачу повышения эффективности технологических процессов и экологической ответственности в условиях, заставляющих опираться на отечественные разработки в различных областях техники. При этом необходимо подготовиться к длительной работе отечественной промышленности в условиях повышения её автономности и обеспечения автаркии, что подразумевает тесное сотрудничество производства с отечественными исследователями, предлагающими разработки в области повышения эффективности технологий и производства. Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности операций наплавки при восстановлении шкива кабельного барабана.

В исполнительском разделе выполнено обоснование выбора способа восстановительной наплавки для построения проектной технологии. На основании разработок отечественных исследователей-сварщиков предложены меры по повышению эффективности предлагаемого способа ремонтной наплавки. Составлена проектная технология ремонтной наплавки.

В оценочных разделах выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет два миллиона рублей. Результаты работы предлагаются к внедрению на ремонтных предприятиях.

## Содержание

Введение . . . . .	5
1 Современное состояние ремонтной сварки и наплавки кабельных барабанов. . . . .	7
1.1 Описание изделия и условий его работы. . . . .	7
1.2 Сведения о материале для изготовления детали. . . . .	9
1.3 Описание операция базового технологического процесса восстановительной наплавки. . . . .	11
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки деталей машин. . . . .	15
1.5 Постановка задач на исполнительский радел выпускной квалификационной работы. . . . .	17
2 Проектная технология восстановительной и упрочняющей наплавки. . .	18
2.1 Обоснование выбора способа наплавки. . . . .	18
2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки. . . . .	24
2.3 Операции проектного технологического процесса плазменной наплавки. . . . .	29
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений. . . . .	33
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта. . . . .	33
3.2 Идентификация профессиональных рисков. . . . .	34
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков. . . . .	35
3.4 Обеспечение пожарной безопасности. . . . .	37
3.5 Экологическая безопасность. . . . .	39
4 Экономическое обоснование проектных решений. . . . .	41
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования. . . . .	41
4.2 Фонд времени оборудования. . . . .	43
4.3 Штучное время и годовая программа. . . . .	44

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии. ....	46
4.5 Расчёт капитальных затрат. ....	51
4.6 Расчёт экономических показателей. ....	53
Заключение .....	55
Список используемой литературы и используемых источников. ....	56

## Введение

В настоящее время отмечается рост энергопотребления, который заставляет обеспечить подводу энергии и других коммуникационных сетей потребителям. Современные требования по экологическому обеспечению и промышленной безопасности ограничивают применение воздушных линий, заставляя прибегать к подземной прокладке коммуникаций. При этом повышается актуальность применения силовых и оптоволоконных кабелей для подземной прокладки, а также возрастает роль оборудования и вспомогательных операций по обеспечению его работоспособности.

В настоящее время отечественный производитель решает задачу повышения эффективности технологических процессов и экологической ответственности в условиях, заставляющих опираться на отечественные разработки в различных областях техники. При этом необходимо подготовиться к длительной работе отечественной промышленности в условиях повышения её автономности и обеспечения автаркии, что подразумевает тесное сотрудничество производства с отечественными исследователями, предлагающими разработки в области повышения эффективности технологий и производства. Одним из приоритетных направлений, финансовое и трудовое вложение в которое позволяет получить многократный экономический эффект, являются сварочные и наплавочные технологии, которые получили широкое распространение во всех отраслях. Таким образом, внедрение эффективных решений по сварке и наплавке позволяет мультиплицировать экономический эффект за счёт скорейшего внедрения сразу на многих предприятиях страны [6], [15], [17], [21]. Кроме того, необходимо учитывать растущие возможности предприятий Азии, которые представляют серьёзный вызов отечественному производителю с точки зрения растущей конкуренции [27].

Применение ремонтных технологий, в частности, дуговой и плазменной наплавки, позволяет существенно повысить экономическую

эффективность и конкурентоспособность отечественного производителя [1], [2]. При этом по сравнению с изготовлением новой детали восстановление изношенной детали позволяет на порядок уменьшить затраты на материалы и энергию. Кроме того, возможность проведения ремонта силами предприятия или находящегося рядом ремонтного предприятия позволяет существенно сократить транспортные издержки, связанные с доставкой детали, а также уменьшить время простоя оборудования.

На основании вышеизложенного следует сделать вывод о высокой актуальности выбранного направления исследования и темы выпускной квалификационной работы, в которой предстоит устранить проблему качества при наплавке быстроизнашивающихся трущихся деталей шкива кабельного барабана и других аналогичных деталей. При формулировке и решении задач выпускной квалификационной работы предстоит учитывать специфику современных условий, в которых предстоит пребывать отечественному производителю, что позволяет обосновать необходимость применения отечественных технологии и решений в области сварки [9], [19]. Кроме того, предлагаемые решения должны быть основаны на современных достижениях отечественной и мировой сварочной науку, для чего необходимо проводить литературный поиск источников научно-технической информации по вопросы повышения эффективности восстановительной наплавки. Базовая технология наплавки предусматривает применение ручной дуговой наплавки штучными электродами, которая из-за своих недостатков все больше заменяется механизированными и автоматическими способами наплавки. Обоснование выбора способа восстановительной наплавки, назначение оптимальных параметров режима и выбор оборудования необходимо выполнять с применением знаний, полученных в ходе обучения на кафедре сварки и заделов, полученных в ходе выполнения отчетов по практикам и курсовых работ. Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности операций наплавки при восстановлении шкива кабельного барабана.

# 1 Современное состояние ремонтной сварки и наплавки кабельных барабанов

## 1.1 Описание изделия и условий его работы

На рисунке 1 представлен состав механизированной колонны, которая выполняет прокладку кабелей, в составе которой присутствуют: спаренный тяговый трактор, обозначенный на схеме «позицией 1 и выполняющий перемещение пассивного кабелеукладчика (обозначен на схеме позицией 2). На кабельном транспортере, который обозначен на схеме позицией 4, установлен кабельный барабан, который обозначен на схеме позицией 3. Укладка кабеля (обозначен на схеме позицией 7) бестраншейным способом выполняется с применением ножа (обозначен на схеме позицией 5) и кассеты для кабеля (обозначена на схеме позицией 6)» [1].

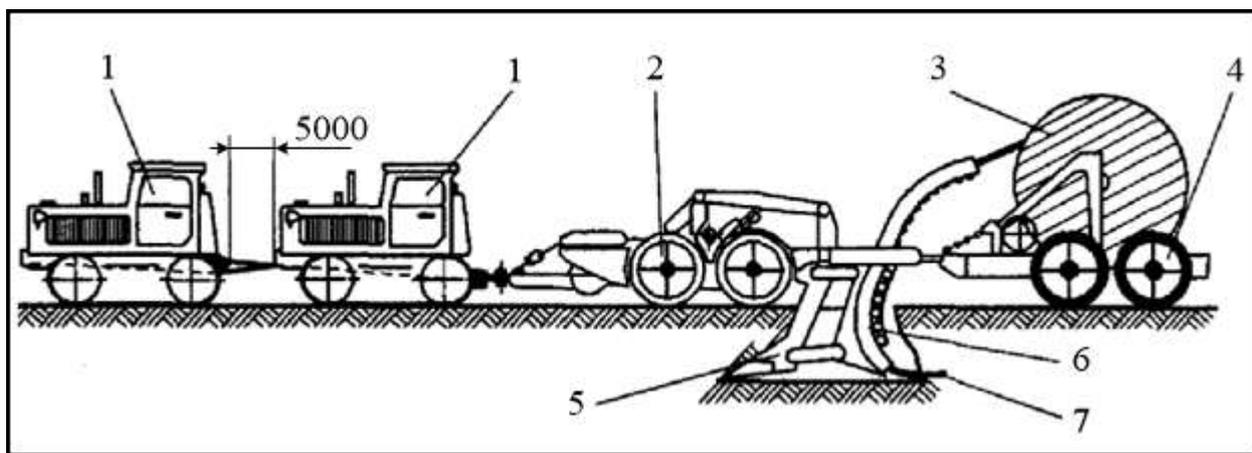


Рисунок 1 – Механизированная колонна для прокладки кабелей

Укладка кабеля бестраншейным способом позволяет существенно повысить скорость прокладки трассы, которая составляет до нескольких километров в день. При этом к кабелю предъявляются повышенные требования по прочности и защите от грызунов. Таким образом, кабель применяется бронированный, а на него и на шкив барабана, представленный на рисунке 2, действуют повышенные нагрузки изгиба, растяжения-сжатия, сдавливания и кручения. В результате наблюдается ускоренный износ ручья

шкива, который необходимо постоянно восстанавливать с применением методов дуговой наплавки.

Конструкция шкива представляет собой несколько металлических элементов, которые скреплены между собой с применением болтовой сборки.

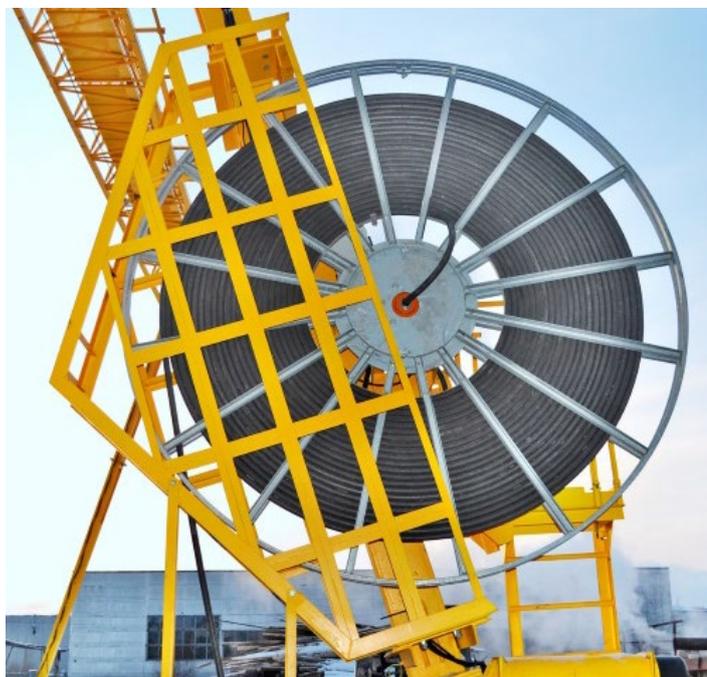


Рисунок 2 – Шкив кабельного барабана

При работе кабельного барабана происходит вращение шкива, на который намотан кабель, что позволяет существенно снизить сопротивление при разматывании кабеля. Обод шкива выполняется из стали 45, в процессе интенсивной эксплуатации происходит его износ, и приходится проводить операции восстановительной наплавки ручья. Состоянию поверхности ручья следует уделять внимание по причине того, что в противном случае будет наблюдаться неравномерность прокладки кабеля и его повышенный износ в результате неравномерного натяжения. Кроме того, раскручивание кабеля с неравномерно выработанным барабаном приводит к перекручиванию и заземлению, что может вызвать аварийную остановку работ и отрицательно сказаться на стоимости и сроках их выполнения.

## 1.2 Сведения о материале для изготовления детали

Для изготовления шкива кабельного барабана применяется сталь 45, которая относится к среднеуглеродистым сталям и обладает ограниченной свариваемостью из-за содержащегося в ней углерода. Высокий процент содержания углерода позволяет повысить прочность и износостойкость стали, но при сварке и наплавке деталей из этой стали возникают проблемы, необходимость решения которых относит сталь к трудно свариваемым. Содержание химических элементов в стали 45 представлено в таблице 1.

Таблица 1 – «Химический состав стали 45 (ГОСТ 1050-88)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As» [24]
0,42 – 0,5	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,3	до 0,08

Содержание углерода в сталях не вызывает трудностей при сваре, если его эквивалентное содержание не превышает 0,32 %. Если содержание углерода в стали выше этого значения, при сварке возникают горячие трещины, образуются закалочные структуры и повышается пористость металла шва из-за выгорания углерода. В составе стали присутствует кремний, который повышает твёрдость, предел текучести и временное сопротивление стали. На свариваемость влияние кремния противоречивое, так как повышенное содержание кремния может приводит к образованию в сварном шве тугоплавких оксидов, которые свариваемость ухудшают. Кремний отрицательно сказывается на краснеломкости, ударной вязкости, стойкости против коррозии и пластичности стали. Марганец повышает твердость, предел текучести временное сопротивление и стойкость против коррозии у сталей, однако отрицательно сказывается на ударной вязкости и пластичности стали. Влияние марганца на свариваемость противоречивое, так как он способен образовывать в сварном шве закалочные структуры, что снижает свариваемость. Хром повышает твёрдость, предел текучести и

ударную вязкость стали. Химический состав стали 45 обуславливает возникновение трудностей при изготовлении и ремонте конструкций из стали с применением сварочных и наплавочных технологий. Первой трудностью является низкая стойкость сварного шва против кристаллизационных (горячих трещин). Второй трудностью является высокая вероятность получения закалочных (холодных) трещин. Третьей трудностью является сложность получения равной прочности сварного шва и основного металла. Кристаллизационные (горячие) трещины образуются по причине уменьшения при нагреве стали её способности воспринимать деформации без разрушения. В процессе кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны происходит его уменьшение в объеме, что приводит к возникновению в металле растягивающих усилий. При этом нагретый до высоких температур металл не способен выдерживать растягивающие нагрузки, в результате чего нарушается его целостность. Следует учитывать, что на вероятность образования горячих трещин оказывает влияние не только температурная обстановка, определяемая параметрами режима и техник сварки, но и особенности конструкции изделия, что должно учитываться при его проектировании. Применение термической обработки после сварки не снижает вероятность образования горячих трещин, что необходимо принимать во внимание при построении технологических процессов сборки и сварки. Закалочные (холодные) трещины образуются при остывании металла до температур порядка 200 °С и возникают по границам зерен металла. Поверхность излома холодной трещины блестящая и не имеет следов окисления, кроме того, холодные трещины поэтому имеют ломанную траекторию. Для устранения опасности возникновения холодных трещин в наплавленном металле необходимо сварку вести с предварительным подогревом, избегать наплавки на открытом воздухе и сквозняках. Также следует выполнять термическую обработку детали после наплавки. Особое внимание следует уделять подготовке поверхности детали и прокалке сварочных электродов.

### **1.3 Описание операция базового технологического процесса восстановительной наплавки**

При износе шкива проводят его замену или восстановительную наплавку. Наплавку проводят при неравномерной выборке или износе по толщине более 50 %. Не реже одного раза в квартал следует проводить плановый осмотр состояния шкива, который выполняет главный механик. При наплавке шкива его следует разделить на 16 равных участков, и наплавку каждого участка проводить «вразбежку» одновременно двумя одновременно двумя сварщиками, которые должны располагаться диаметрально противоположно друг другу. Наплавку проводят валиками. Указанная техника наложения валиков позволяет избежать перегрева шкива и его деформации под действием неравномерного нагрева от наплавки. После наплавки профиль шкива следует проконтролировать по шаблону и удалить наплывы при помощи шлифовальной машины.

Перед выполнением восстановительной наплавки следует выполнить очистку поверхности шкива, так как наличие на ней загрязнений будет препятствовать нормальному протеканию процесса наплавки, а недостаточная очистка будет являться причиной образования дефектов наплавленного слоя. При наплавке по поверхности, имеющей следы масел, краски и влаги повышается пористость наплавленного металла.

«При наличии на поверхности дефектов и наклепанного металла, их удаляют с применением шлифовальной машины. Если поверхность имеет неравномерную выборку, её следует обработать на карусельном станке. Для подготовки поверхности под наплавку» [1] применяют пескоструйную обработку, стальные щетки и абразивные круги.

После подготовки деталь с применением внутрицехового транспорта передается на участок наплавки. Восстановительную наплавку следует выполнять в закрытых помещениях с температурой воздуха не ниже +10 °С, без сквозняков.

Наплавку ведут электродами ОЗН-300, которые являются специализированными и предназначены для наплавки деталей машин, работа которых предусматривает ударные нагрузки и трение. Типичный состав наплавленного металла при использовании электродов ОЗН-300 представлен в таблице 2. «Перед выполнением наплавки электроды следует прокалить в печи при температуре 300 °С в течение одного часа. После прокали электроды следует поместить в резервную печь, нагретую до температуры 60 °С» [1], откуда электроды вынимаются по одному непосредственно перед самым использованием. Все прокаленные электроды должны быть использованы в течение одной рабочей смены, в противном случае прокалику следует повторить. Допускается не более трех прокалок электродов, если они не были использованы, электроды признаются негодными и должны быть утилизированы.

Таблица 2 – Типичны состав наплавленного электродами ОЗН-300 металла

С	Mn	Si	S	P
0,10	3,0	1,3	0,02	0,03

«Наплавку ведут в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. В качестве источника сварочного тока применяется сварочный выпрямитель ВД-301, представленный на рисунке 3. Сила тока составляет 170...200 А, напряжение на дуге составляет 18...24 В, наплавку ведут электродами диаметром 4 мм» [1]. При наплавке применяют следующую технику. Электрод следует держать под наклоном 15...20 градусов по направлению движения. Наплавку ведут единичными валиками.

Ширина которых составляет 1,5...2 диаметра электрода, для чего при влении электрода накладываются поперечные колебания, как показано на рисунке 4.

Наплавку ведут короткой дугой, длина которой не превышает диаметра электрода, что позволяет уменьшить выгорание легирующих элементов. При наплавке валики должны перекрывать предыдущие на треть ширины.

Припуск на механическую обработку составляет 2,5...4 мм. после наплавки валика и остывания необходимо сбить шлак и визуально убедиться в отсутствии недопустимых дефектов.



Рисунок 3 – Сварочный выпрямитель ВД-301

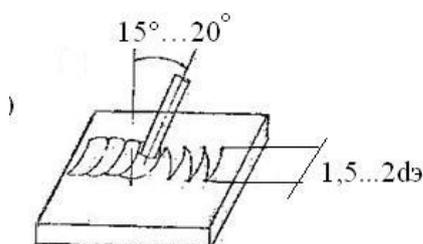


Рисунок 4 – Техника наплавки

При наплавке в несколько слоев предыдущий слой должен быть зачищен до металлического блеска.

После наплавки проводится визуальный контроль, в течение которого осматривают поверхность наплавленного металла на предмет видимых дефектов. Поверхность вала должна быть хорошо сформирована, перепад высоты валиков не должен превышать 0,5 мм. Трещины не допускаются.

После визуального контроля проводят контроль с применением керосина. Для этого на сварной шов с внешней стороны наносят на поверхность и выдерживают в течение 15...20 минут. После этого вытирают место контроля насухо с применением ветоши. Далее на место контроля наносят водную суспензию мела. После высыхания нанесенной водной суспензии по сварной конструкции следует постучать молотком с закругленным бойком, что облегчит выход керосина из дефектов, наличие которых определяют по потемнению окрашенной мелом поверхности

#### **1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки деталей машин**

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности наплавочных работ при ремонте деталей машин типа шкивов. 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 процессов наплавки. Проводился поиск в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберленинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

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 первой работе [20] предложены методики, позволяющие уменьшить опасность возникновения трещин при выполнении наплавки износостойким слоем из быстрорежущей стали 90Х4М4ВФ. Проведенные исследования позволили обосновать выбор способа наплавки и технику выполнения наплавки короткими участками.

Данная работа позволит обосновать выбор состава наплавленного металла и показывает эффективность применения для износостойкой наплавки быстрорежущих сталей.

Во второй работе [14] рассматриваются методики, позволяющие повысить эффективность наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Существенное снижение разбрызгивания достигается при правильном выборе параметров импульсной подачи сварочной проволоки. Так, при частоте подачи в диапазоне 20...50 Гц и скважности 3...5 единицы потери на разбрызгивание и угар существенно снижаются по сравнению с применением сварки на стационарной подаче проволоки. Сварка на частоте подачи проволоки 30...40 Гц и скважности 5 единиц характеризуется минимальными потерями на разбрызгивание и угар, составляющими 50 % от потерь электродного металла при сварке с постоянной подачей проволоки.

«Данная работа показывает эффективность применения наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения и будет использована для обоснования выбора способа восстановительной наплавки» [14].

В третьей работе [26] представлен промышленный опыт применения технологии сварки и наплавки порошковой проволокой на различных предприятиях. Показана высокая эффективность применения механизированной сварки порошковой проволокой. Для промышленности предложена проволока оригинального состава диаметром 1,6 мм, получившая название ПП-АН198, которая позволяет выполнять сварку с высоким качеством наплавленного металла. Применение этой проволоки отличается отсутствием дефектов в наплавленном металле и уменьшенным уровнем остаточных напряжений.

На основании изучения данной работы можно сделать вывод о возможности повышения эффективности восстановительной наплавки порошковой проволокой. Эта работа будет использована для обоснования способа восстановительной наплавки.

В четвёртой работе [27] доказана эффективность восстановительной плазменной наплавки, при которой применялся присадочный порошок ПГ-10Р6М5.

На основании изучения данной работы можно сделать вывод о возможности повышения эффективности плазменной наплавки с применением присадочного порошка. Эта работа будет использована для обоснования способа восстановительной наплавки.

В пятой работе [12] на основании проведенных исследований показана эффективность управления временными параметрами импульсного управления контактной сваркой с использованием математического моделирования. Входными параметрами модели являются физические характеристики материала и проволоки, параметры источника питания. Показано, что на характер переноса электродного металла существенно влияет постоянная времени сварочной цепи. Установка в сварочной цепи управляемого дросселя позволяет эффективно управлять особенностями образования капли расплавленного металла и характера переноса.

Данная «работа показывает эффективность применения наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения и будет использована для обоснования выбора способа восстановительной наплавки» [12].

На основании «анализа источников научно-технической информации и знаний, полученных при обучении на кафедре сварки, для восстановительной и упрочняющей наплавки рассматриваемой детали могут быть признаны рациональными следующие способы: ручная дуговая наплавка, наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, наплавка порошковой проволокой, наплавка под флюсом и плазменная наплавка» [1]. При построении проектной технологии обосновать выбор одного способа восстановления, для которого необходимо применить мероприятия по повышению эффективности на основании отечественных разработок в области расширения технологических возможностей сварочных и наплавочных процессов.

## **1.5 Постановка задач на исполнительский раздел выпускной квалификационной работы**

Первый раздел настоящей выпускной квалификационной работы посвящен анализу состояния вопроса и базовой технологии ремонтной наплавки, которая выполняется с применением ручной дуговой наплавки. Наплавка штучными электродами, являющаяся одним из самых универсальных способов и успешно применяемая в промышленности в течение длительного времени, характеризуется рядом недостатков, которые становятся критичными в условиях современного производства, что заставляет вести поиск и внедрение новых, более перспективных способов сварки и наплавки, применять механизированные и автоматические способы наплавки. Длительная тенденция на вытеснение ручной дуговой сварки и наплавки отмечается рядом аналитиков [16], [18]. Кроме того, расширение технологических возможностей технологий восстановления и упрочнения деталей машин позволяет повысить техническую и энергетическую независимость Российской Федерации в условиях затрудненных поставок высокотехнологического оборудования [3], [19].

На основании вышеизложенного могут быть сформулированы решаемые во втором разделе задачи. Первой задачей является обоснование выбора способа наплавки, которую следует решать по результатам экспертной оценки всех выбранных для анализа способов. «Второй задачей является повышение эффективности выбранного способа наплавки применительно к рассматриваемой детали с использованием результатов российских исследователей-сварщиков. Третьей задачей является построение проектной технологии наплавки, в ходе решения которой предстоит составить перечень технологических операций, назначить параметры режима, технические условия и выбрать оборудование. Далее необходимо выполнить экологическое» [5], [10] и «экономическое обоснование предлагаемый в выпускной квалификационной работе решений» [11], [22].

## 2 Проектная технология восстановительной и упрочняющей наплавки

### 2.1 Обоснование выбора способа наплавки

Наиболее универсальным способом наплавки является ручная дуговая наплавка с применением штучных электродов. Схема ручной дуговой наплавки представлена на рисунке 5. Для наплавки применяются специальные электроды с составом покрытия наиболее подходящим по условиям работы детали. Ведут дугу слева направо, избегая попадания расплавленного металла на непрогретую поверхность и попадания шлака полслой наплавленного металла. Следует отметить, что для ручной дуговой наплавки в качестве источников сварочного тока применяются стандартные выпрямители и трансформаторы, приобретения специализированного оборудования не требуется. При ручной дуговой наплавке в большинстве случаев требуется предварительный подогрев детали, который позволяет уменьшить погонную энергию и устранить опасность образования холодных трещин.

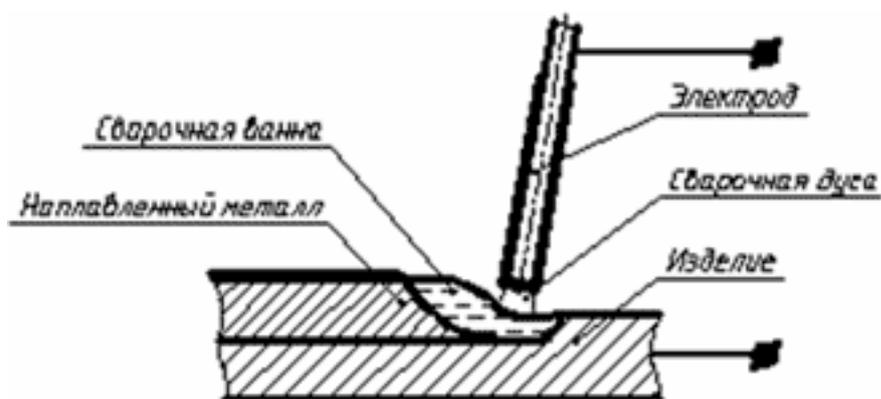


Рисунок 5 – Схема ручной дуговой наплавки

Ручная дуговая наплавка в настоящее время вытесняется другими способами, что объясняется рядом недостатков, которые в условиях современного производства становятся критичными и заставляют проводить внедрение более перспективных способов восстановления деталей машин.

Первым недостатком является низкая стабильность качества проведения работ, которая в значительной мере зависит от условия их проведения и квалификации сварщика. Вторым недостатком является малая производительность процесса, которая ограничивается по причине перегрева детали, необходимости исправления брака наплавки и замены электрода. На электродные огарки и разбрызгивание затрачивается значительное количество дорогостоящих электродов. Кроме того, при ручной дуговой наплавке необходимо прерывать процесс для замены электрода, что также отрицательно влияет на качество выполнения работ. В настоящее время резервы повышения эффективности ручной дуговой наплавки практически выработаны, некоторые исследования проводятся в области разработки новых электродов [4], [8].

Схема выполнения наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения представлена на рисунке 6. При наплавке в защитных газах практически не происходит образования на поверхности наплавленного металла шлака, поэтому проблема очистки при выполнении многослойных швов решается более эффективно. Кроме того, по сравнению с ручной дуговой сваркой повышается производительность и качество работ.

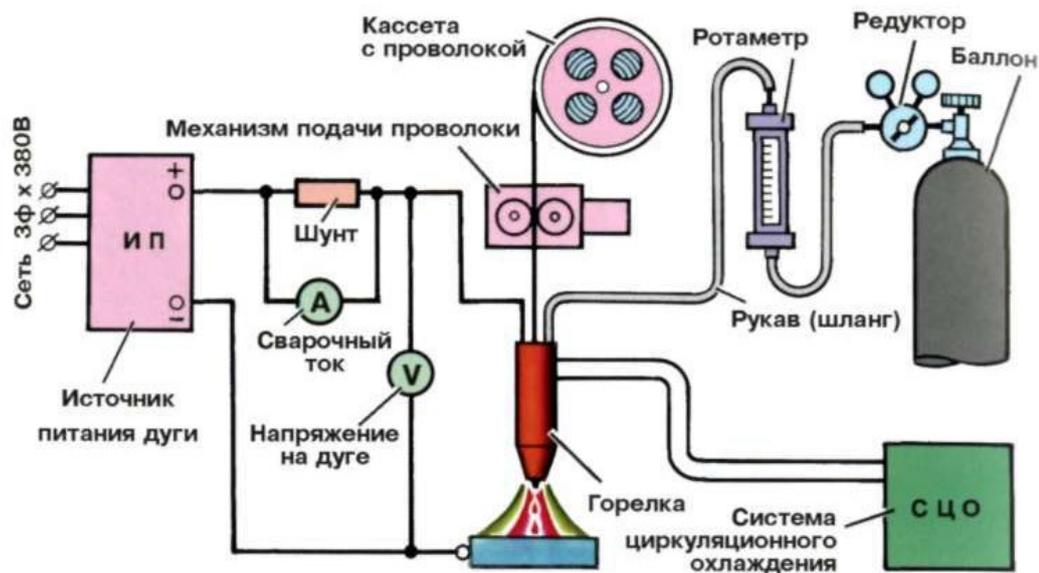


Рисунок 6 – Схема наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения

Следует отметить, что при наплавке в «углекислом газе расплавленный металл характеризуется пониженной по сравнению с другими способами наплавки текучестью, что позволяет вести наплавку в различных пространственных положениях» [25]. Однако низкая текучесть металла затрудняет качественное формирование корневого слоя шва, затекание расплавленного металла в узкую разделку и становится причиной образования непроваров и трещин. Кроме того, в качестве недостатка наплавки в защитных газах следует указать высокое разбрызгивание электродного металла, которое наиболее сильно начинает проявляться при переходе на высокопроизводительные режимы. Для расширения технологических возможностей сварки и наплавки в защитных газах в мире ведутся интенсивные разработки в области управления сварочной дугой и подачей проволоки [13], [24], [25].

На рисунке 7 представлена «схема наплавки порошковой проволокой, эффективность которой подтверждена на ряде предприятий. Применение порошковой проволоки позволяет существенно повысить производительность по сравнению с ручной дуговой наплавкой. Стоимость изготовления порошковой проволоки» [26] существенно ниже стоимости изготовления легированной проволоки сплошного сечения, при этом существенно расширяется возможность легирования наплавленного металла, так как изменять состав порошкового наполнителя намного проще, чем состав проволоки сплошного сечения. При наплавке порошковой самозащитной проволокой применения дополнительного флюса и защитного газа не требуется, что существенно упрощает процесс наплавки. На поверхности наплавленного металла образуется тонкий слой шлака, который легко удаляется. В настоящее время эффективность наплавки порошковой проволокой доказана на ряде предприятий при восстановлении деталей машин энергетического машиностроения, химической промышленности, транспортной промышленности, нефтепереработки.

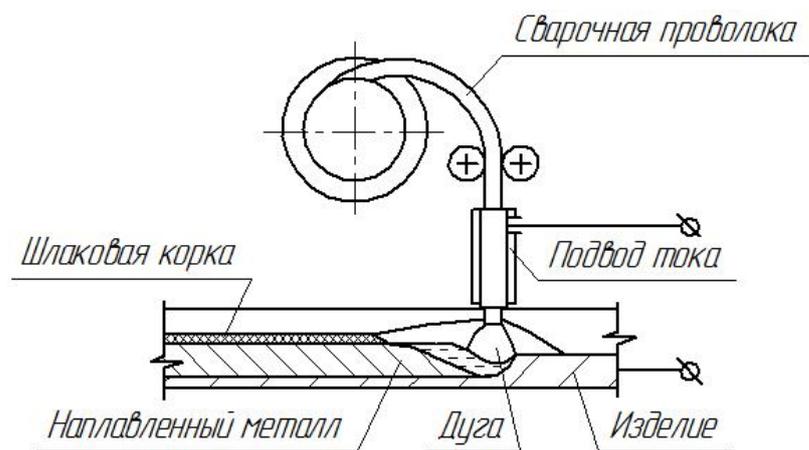


Рисунок 7 – Схема наплавки порошковой проволокой

Промышленное внедрение наплавки порошковой проволокой не устранило в полной мере недостатков этого способа. Первым недостатком является повышенная мягкость порошковой проволоки, которая становится причиной застревания проволоки в подающем механизме. Вторым недостатком является неравномерность прогрева и плавления проволоки по сечению, из-за чего может происходить осыпание в сварочную ванну нерасплавившегося порошкового наполнителя проволоки. Третьим недостатком является повышенное образование пор и шлаковых включений.

Схема наплавки под флюсом представлена на рисунке 8. Наплавка под флюсом характеризуется непрерывностью, так как процесс не останавливают, как это происходит при ручной дуговой наплавке, когда необходимо прерываться на смену электрода. Наплавка под флюсом характеризуется повышенным по сравнению с выше перечисленными способами наплавки качеством наплавленного слоя. Кроме того, при наплавке под флюсом улучшаются условия труда сварщика, так как уменьшается вредное излучение и испарения.

Недостатком наплавки под слоем флюса является увеличение глубины проплавления из-за повышения тепловой мощности дуги. Кроме того, из-за перегрева основного металла происходит укрупнение структуры металла, что сказывается нежелательно на его эксплуатационных свойствах. Также при наплавке отсутствует возможность визуального наблюдения за наплавкой.

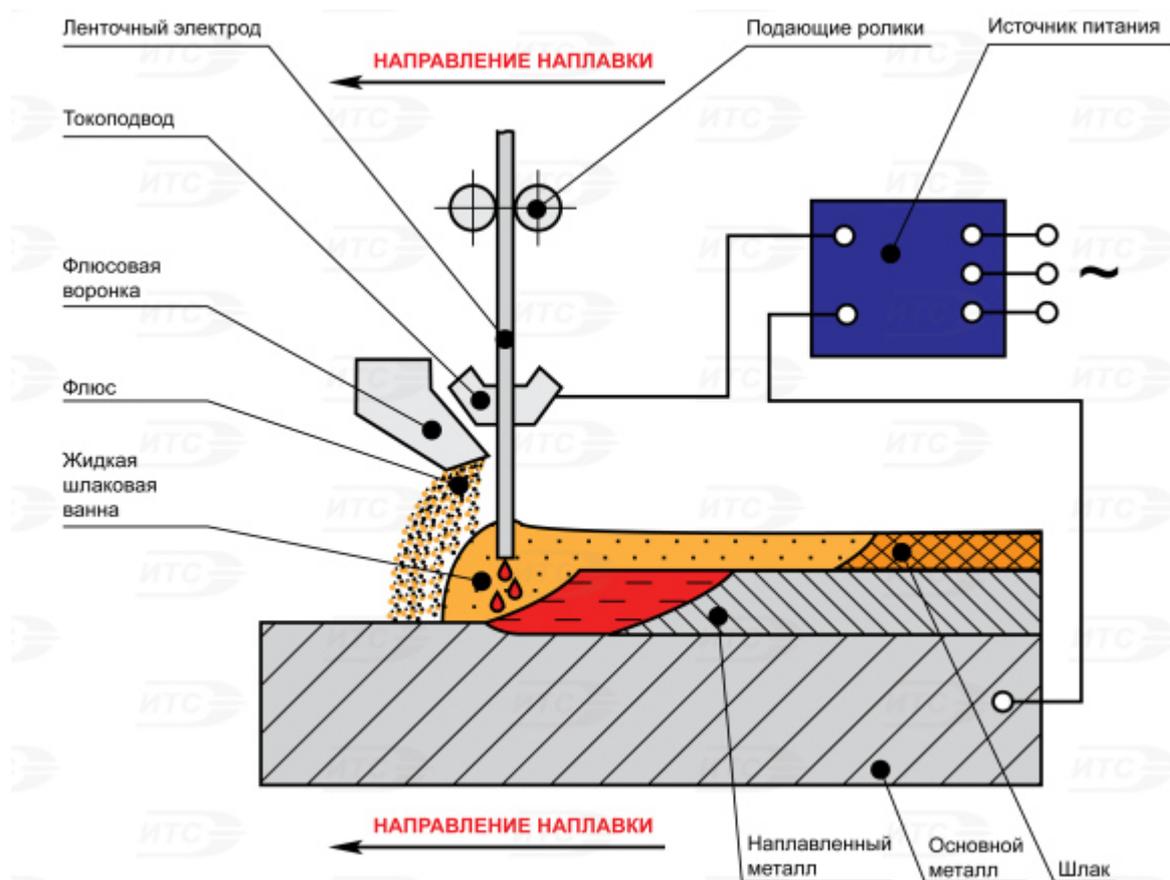


Рисунок 8 – Схема наплавки под флюсом

Одним из самых перспективных способов восстановления деталей машин является плазменная наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 9. Источником нагрева при плазменной наплавке выступает сжатая дуга, по сравнению со свободной дугой имеющая большую эффективность и пространственную стабильность. В качестве присадки может быть использована проволока и порошок, вносимый в дугу или на поверхность деталей. Наибольшими технологическими возможностями обладает плазменная наплавка с внесением наплавочного порошка в дугу. При этом в зависимости от параметров режима может быть получена толщина наплавленного металла от 0,3 до 10 мм. Применение плазменной наплавки обладает большим по сравнению с другими рассмотренными способами наплавки потенциалом, позволяет не только восстановить свойства детали, но и позволяет повысить её эксплуатационные свойства за счёт применения перспективных наплавочных материалов.

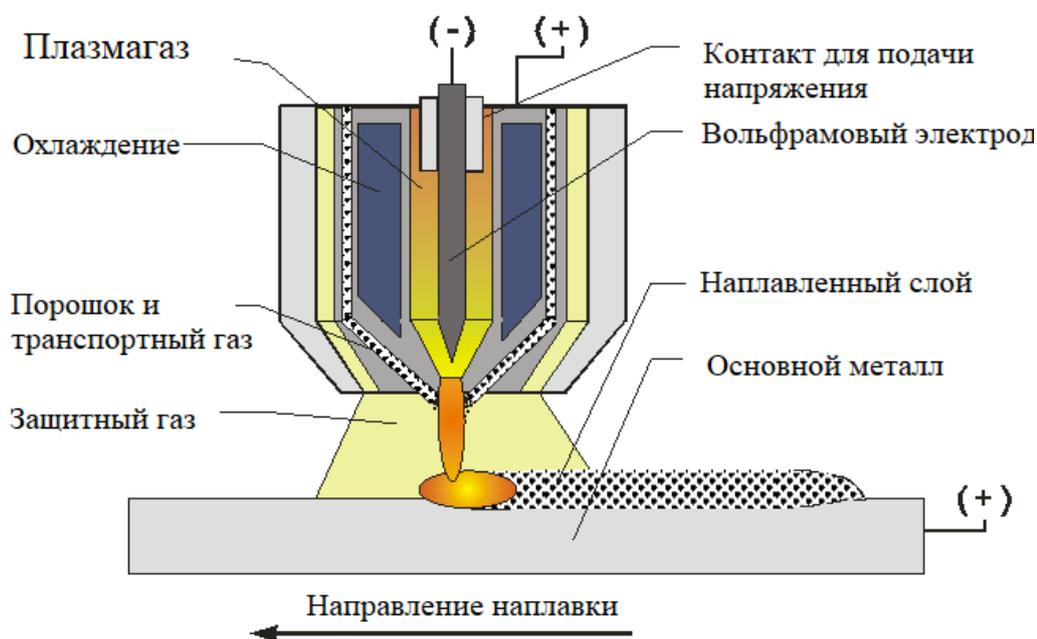


Рисунок 9 – Схема плазменной наплавки

Выбор оптимального способа восстановления детали из перечисленных основывается на экспертной оценке по критериям [1], [2], [7]: производительность работ, условия труда сварщика, эксплуатационные свойства детали после восстановления, стоимость оборудования, универсальность процесса, перспективы дальнейшего совершенствования технологии с использованием уже имеющегося на предприятии оборудования.

На основании анализа перечисленных способов восстановительной наплавки для построения проектной технологии предлагается применить плазменную наплавку, которая обладает значительным потенциалом для дальнейшего совершенствования технологического процесса и позволяет существенно повысить культуру производства. Кроме того, внедрение плазменной наплавки позволит осваивать восстановление и упрочнение других деталей машин и начать коммерческое использование при восстановлении деталей машин, поставляемых другими потребителями.

Дальнейшие работы направлены на повышение эффективности плазменной наплавки с учётом достижений российских исследователей-сварщиков, что позволит решить задачи импортозамещения.

## 2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки

В настоящей выпускной квалификационной работе одной из решаемых задач является повышение эффективности плазменной наплавки массивных деталей. Исход из этого необходимо рассмотреть вопросы увеличения производительности плазменной наплавки без снижения её качества, для чего в мире предложен ряд разработок. На рисунке 10 представлена схема плазменной наплавки, при которой в качестве присадочного материала применяются две стальные проволоки, подключенные к дополнительному источнику питания. К плазматрону, который обозначен на функциональной схеме позицией 3, подводят питание от источника, обозначенного на функциональной схеме позицией 4, плазмообразующий и защитный газы, которые на функциональной схеме обозначены позициями «ПГ» и «З».\ Подвода транспортирующего газа в функциональной схеме не предусмотрена, так как роль присадочного материала играет две проволоки, обозначенные на функциональной схеме позициями 1. К проволокам через подводы тока, которые обозначены на схеме позицией 6, от дополнительного источника тока 2 подводится постоянный ток, разогревающий проволоки перед подачей их в сварочную ванну, образованную от горения дуги прямого действия между неплавящимся электродом плазматрона 3 и деталью, обозначенной позицией 5. Производительность наплавки достигает 30 кг/час.

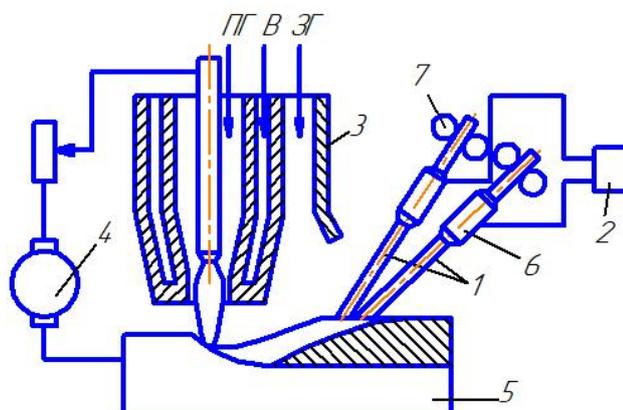


Рисунок 10 – Функциональная схема плазменной наплавки двумя проволоками

Повышение производительности плазменной наплавки может быть получено применением комбинированного способа, представленного на рисунке 11, и предусматривающего совокупное применение сварки неплавящимся электродом и вольфрамовой проволоки. Между вольфрамовым электродом 3 и 10 «горит дуга 8 прямого действия, которая сжимается соплом плазматрона 7. Питание дуги 8 происходит от источника тока 2, который имеет падающую характеристику и включен последовательно с осциллятором 1. Подвод тока к вольфрамовому электроду 3 осуществляется через токоподвод 11. Между изделием 10 и плавящимся электродом 4 горит дуга 9, которая питается от источника тока 6, имеющего жесткую характеристику, подвод тока к сварочной проволоке 4 от источника тока 6 осуществляется через токоподвод 5» [20]. Производительность наплавки с применение такого способа составляет 30 кг/час.

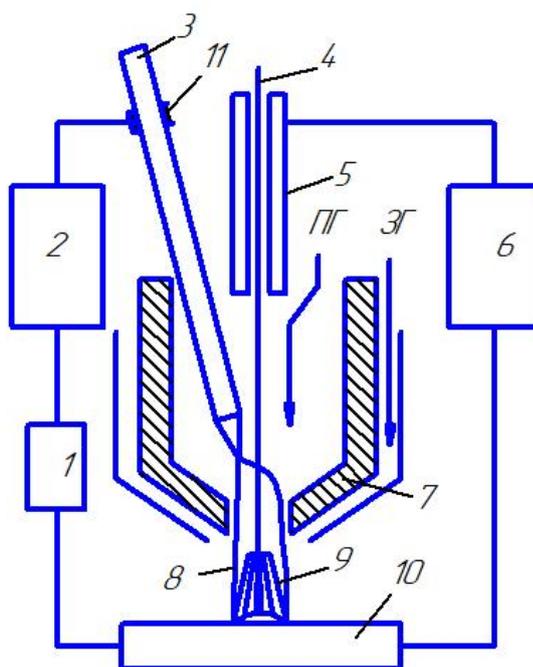


Рисунок 11 – Комбинированный способ плазменной наплавки

Наплавка двумя автономными проволоками, схема выполнения которой представлена на рисунке 12, позволяет получить максимальную производительность при восстановлении массивных деталей. При осуществлении способа одна сжатая дуга прямого действия горит между

вольфрамовым электродом 3 и деталью 8, питание дуги происходит от источника постоянного тока 1. Второй источник тока 2 подключают к вольфрамовому электроду 3 и двум присадочным проволокам 5, к которым подвод тока обеспечивается через скользящие контакты 7. В плазматрон 4 поступает плазмообразующий и защитный газы, которые обозначены на функциональной схеме как «ПГ» и «ЗГ». Подача присадочных проволок обеспечивается механизмами 6. Толщина наплавленного таким способом слоя составляет 3...8 мм.

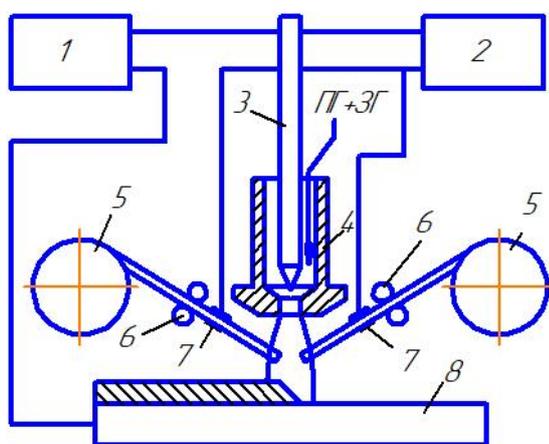


Рисунок 12 – Функциональная схема наплавки двумя автономными проволоками

На рисунке 13 представлен предложенный ИЭС им. Е. О. Патона способ порошково-плазменной наплавки, успешное внедрение которого выполнено на ряде предприятий. В качестве присадочного материала применяют порошки (ПГ-СР3, ПГ-СР4), наплавку ведут с поперечными колебаниями плазматрона, частота которых составляет 0,7 Гц, а амплитуда составляет 25...40 мм. Толщина наплаваемого слоя составляет 4...4,5 мм за один проход. В большинстве случаев требуется применение предварительного подогрева детали, позволяющего повысить производительность и качество наплавки.

Схема включает в себя восстанавливаемую деталь, обозначенную позицией 3, которая устанавливается с возможностью вращения в зажиме станка 2. Наплавка выполняется плазматроном, который обозначен на

функциональной схеме позицией 5, в который поступает присадочный порошок от податчика 4. Защитный, плазмообразующий и транспортирующий газы поступают в плазматрон 5 от баллонов с газом 7. Работа установки управляется с пульта 6. Питание плазматрона обеспечивается источником тока 1, последовательно с которым включены балластный реостат 8 и сглаживающий дроссель 9.

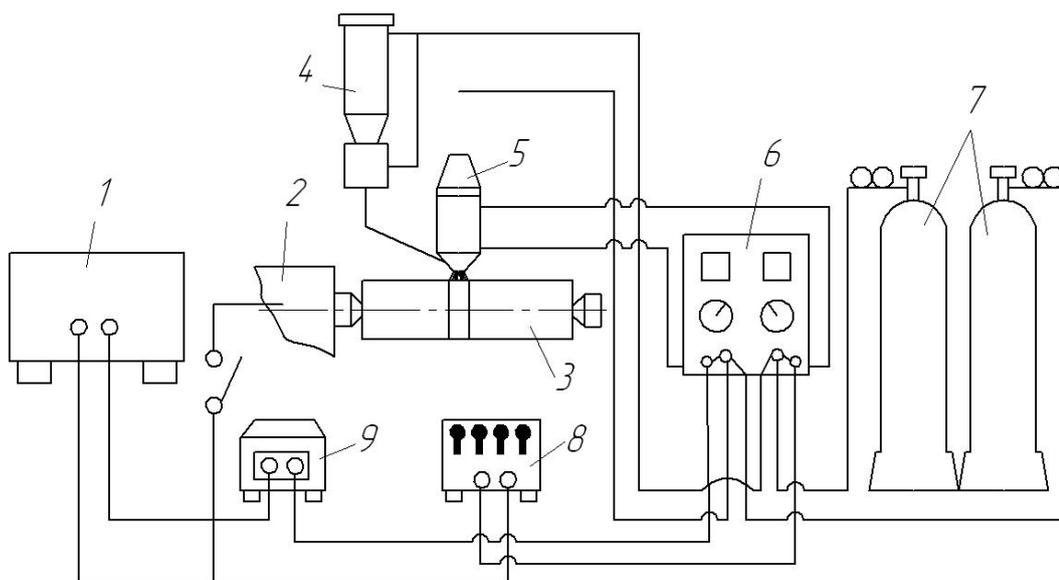


Рисунок 13 – Функциональная схема порошково-плазменной наплавки

Представленная на рисунке 13 функциональная схема порошково-плазменной наплавки характеризуется наибольшей универсальностью и расширенными технологическими возможностями. Так как вместо проволоки применяется присадочный порошок, стоимость материалов существенно снижается, расширяются возможности регулирования состава наплавленного металла, а качество наплавленного слоя повышается. Представленная схема порошково-плазменной наплавки будет применена при построении проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе.

Для повышения производительности наплавки и качества наплавки предлагается применить конструкцию плазматрона, разработанную российскими учеными-сварщиками [23]. Устройство плазматрона представлено на рисунке 14 и включает в себя разделенные электрической

вставкой 3 катодный и анодный узлы 1 и 2. Сопло для формирования сжатой дуги 4 устанавливается в анодном узле 2 и фиксируется при помощи уплотняющих резиновых колец 5. Катод с воздушным охлаждением 6 устанавливается в катодном узле 1 при помощи штуцера-катододержателя 7. В центральном канале 8 штуцера-катододержателя 7 расположен завихритель 9. Дополнительный завихритель 10 имеется в дуговом канале сопла 4. Термостойкая вставка 11 установлена на конце дополнительно завихрителя 10.

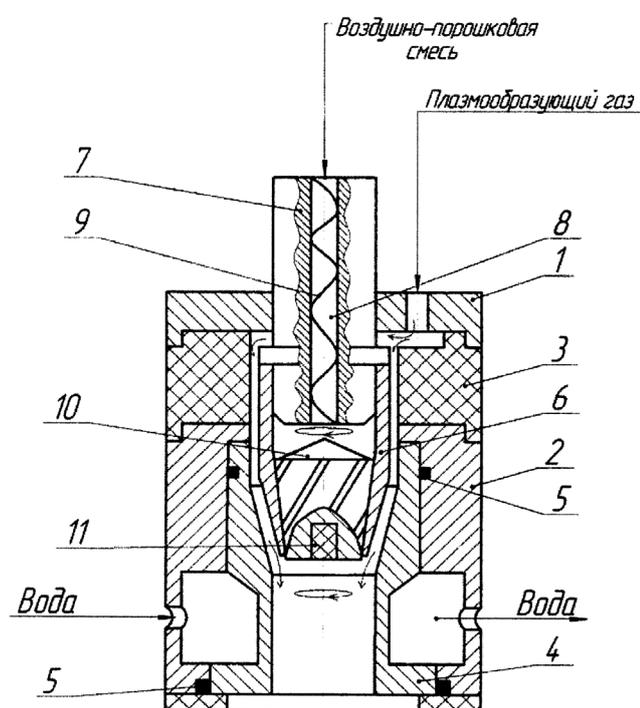


Рисунок 14 – Конструкция предлагаемого плазматрона

Предлагаемая конструкция плазматрона позволяет повысить производительность плазменной наплавки, которая составляет до 8 кг в час. Коэффициент полезного действия по порошку составляет 81%, коэффициент полезного действия по плазменной струе составляет 54 %.

Далее предстоит решение третьей задачи, заключающейся в составлении проектной технологии, которая учитывает предложенные в настоящем подразделе технические решения по повышению эффективности плазменной наплавки деталей машин.

### 2.3 Операции проектного технологического процесса плазменной наплавки

Для обточки рабочей поверхности шкива кабельного барабана применяется представленный на рисунке 15 токарно-карусельный станок 1563 Ф1, позволяющий обтачивать детали диаметром до 6,3 метра. Высокая жёсткость станины обеспечивает необходимую точность механической обработки деталей.

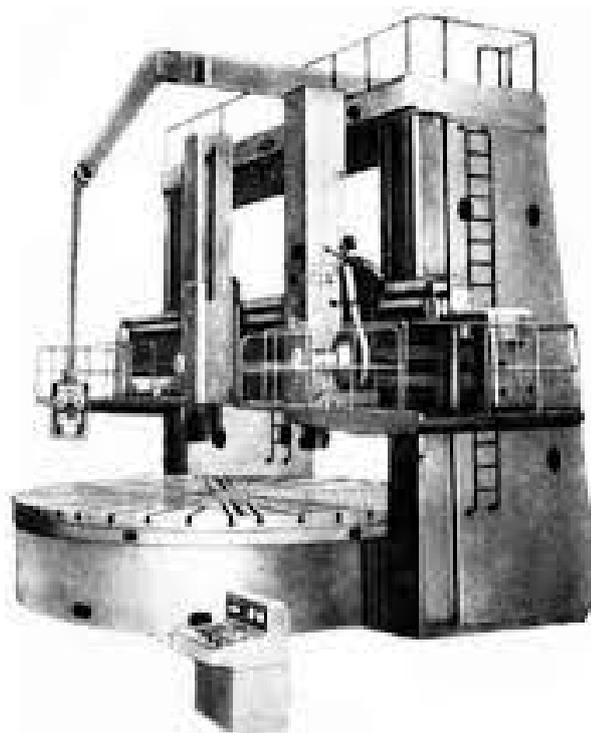


Рисунок 15 – Токарно-карусельный станок

После проведения обточки рабочей поверхности шкива выполняют его очистку в представленной на рисунке 16 дробеструйной установке Rösler RDS 80/70, которая обеспечивает производительность выброса дроби 2000 кг в минуту за счёт применения турбин Hurricane H42. Габариты рабочей камеры составляют 8 на 7 метров при длине камеры 10,5 метра. Помещение крупногабаритных деталей внутрь камеры и выемка деталей выполняется при помощи цехового крана. Камера имеет возможность как автоматической, так и ручной обработки деталей.



Рисунок 16 – Дробеструйная камера

Наплавку ведут с применением присадочного порошка ПР-Х12МФ, который может быть фракцией 70...600 мкм. Необходимо, чтобы частицы порошка отличались друг от друга не более чем на 30 мкм, что позволяет обеспечить стабильный процесс наплавки. Сила тока устанавливается в диапазоне 150...200А при рабочем напряжении 40...45 В и напряжении холостого хода 120...160 В. Задается расход плазмообразующего газа 1,5...2,5 литров в минуту, расход защитного газа 16...20 литров в минуту, расход транспортирующего газа 5...7 литров в минуту. Скорость наплавки составляет 0,15...0,18 метров в минуту, расход охлаждающей воды составляет не менее 5 литров в минуту.

Наплавку ведут импульсным током, параметры импульса представлены на рисунке 17. Временными параметрами импульса тока являются полное время импульса  $t_u$ , длительность паузы  $t_n$  и длительность импульса  $t_{и}$ .

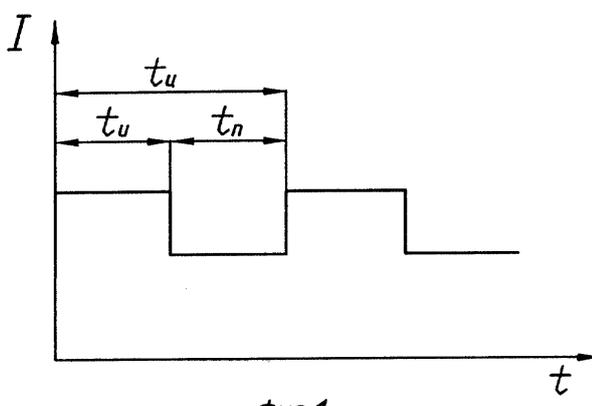


Рисунок 17 – Параметры импульса тока плазменной наплавки

При начале наплавки включается подача плазмообразующего, защитного и транспортирующего газов, зажигается дежурная дуга косвенного действия, которая горит между соплом плазматрона и вольфрамовым электродом. Далее загорается основная дуга прямого действия, которая горит между деталью и вольфрамовым электродом. Горение основной дуги происходит в импульсном режиме. Применение импульсного режима позволяет получить переменное силовое и тепловое воздействие на металл сварочной ванны. В течение высокоамперного импульса тепловая мощность дуги и силовое воздействие на расплавленный металл сварочной ванны повышается, в результате чего происходит вытеснение расплава к краю ванны. В течение низкоамперного импульса паузы тепловая мощность и давление сжатой дуги снижается, в результате чего расплавленный металл с краев ванны возвращается к её центру, несколько остывает и формирует наплавленный слой. В результате повышается производительность наплавки и перемешивание расплавленного металла с полным удалением растворенных в нем газов, структура наплавленного металла формируется мелкой зернистости. Форма сварочной ванны и сжатой дуги при осуществлении импульсного управления представлена на рисунке 18, на котором деталь обозначена позицией 1, наплавленный металл обозначен позицией 2, сжатая дуга обозначена позицией 3, защитный газ обозначен позицией 4, сопло плазматрона обозначено позицией 5, вольфрамовый электрод обозначен позицией 6.

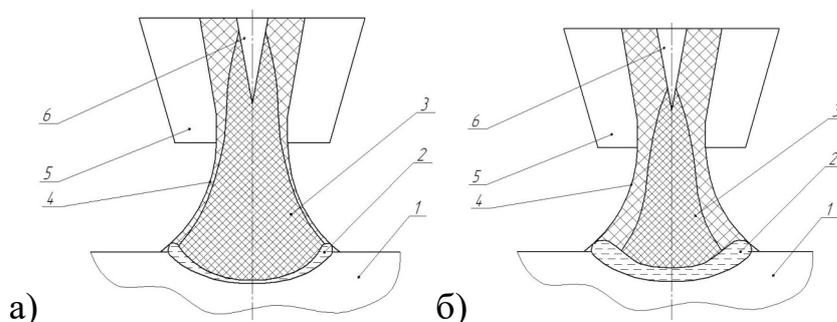


Рисунок 18 – Наплавка сжатой дугой при импульсном управлении процессом: период тока (а), период паузы (б)

Для питания сжатой дуги применяется источник PWI-500 TL, представленный на рисунке 19. Данный источник позволяет вести плазменную сварку и наплавку на постоянном токе прямой полярности. Система управления источника питания обеспечивает получение импульсной дуги.



Рисунок 19 – Источник питания сжатой дуги PWI-500 TL

После наплавки проводится визуальный контроль, в течение которого осматривают поверхность наплавленного металла на предмет видимых дефектов. Поверхность вала должна быть хорошо сформирована, перепад высоты валиков не должен превышать 0,5 мм. Трещины не допускаются.

После визуального контроля проводят контроль с применением керосина. Для этого на сварной шов с внешней стороны наносят на поверхность и выдерживают в течение 15...20 минут. После этого вытирают место контроля насухо с применением ветоши. Далее на место контроля наносят водную суспензию мела. После высыхания нанесенной водной суспензии по сварной конструкции следует постучать молотком с закругленным бойком, что облегчит выход керосина из дефектов, наличие которых определяют по потемнению окрашенной мелом поверхности

### 3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

#### 3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки шкивов кабельных барабанов. В исполнительском разделе выпускной квалификационной работы обоснован выбор способа восстановительной наплавки и составлена проектная технология восстановительной наплавки. Изменение технологического процесса повлекло за собой образование новых негативных производственных факторов и требует выработки решений по их компенсации, что позволит обеспечить безопасность предлагаемого проектного технологического процесса для персонала предприятия и окружающей среды. Анализ проектной технологии восстановительной наплавки представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование
«Обточка	Слесарь-сборщик	- токарно-фрезерный станок
Дробеструйная очистка	Слесарь-сборщик	- дробемёт, - дробемётная камера
Плазменная наплавка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- установка плазменной наплавки, - пирометр, - фиксатор детали
Контроль качества» [1]	Инженер - дефектоскопист	- лупа, - твердомер

Проектный технологический процесс укрупненно предусматривает последовательное выполнение четырех операций: обточка, дробеструйная обработка, восстановительная наплавка, контроль качества. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал,

приведенный во втором столбце таблицы 3, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 3.

На основании данных таблицы 3 будет выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду.

### **3.2 Идентификация профессиональных рисков**

При выполнении операция проектного технологического процесса персонал предприятия подвергается профессиональным рискам. Возникающие негативные факторы считаются опасными, если под их действием может происходить резкое ухудшение состояния работника вплоть до его гибели. Негативный факто считается вредным, если под его действием у работника развивается профессиональное заболевание.

При реализации технологического процесса с применением сварочных технологий источником негативных факторов является сварочная дуга, по причине действия которой возрастает опасность производства для работников, а также существенно ухудшается климат предприятия, что становится причиной профессиональных заболеваний. В таблице 4 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

Следует учесть, что совокупное действие негативных производственных факторов может приводить к отрицательным последствиям, эффект от которых оказывается выше, чем простое суммирование последствий от каждого фактора в отдельности. Также следует учесть кумулятивный эффект негативных факторов, который проявляется в катастрофическом изменении состояния даже если до этого момента фактор никак себя не проявлял.

Таблица 4 – Идентификация негативных производственных факторов

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

Источниками негативных факторов при реализации проектного технологического процесса выступает технологическое оборудование для подготовки деталей под наплавку, термическое оборудование, сварочное оборудование и аппаратура контроля. Представленные в таблице 5 негативные факторы в количестве семи штук, не являются новыми и успешная нейтрализация может быть обеспечена стандартными техническими средствами и методиками, находящимися в резерве промышленного предприятия.

### 3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

Выявленные негативные производственные факторы, представленные в таблице 4, ранее возникали на предприятии и могут быть успешно нейтрализованы с применением стандартных технических средств и методик, которые представлены в таблице 5 и имеются в резерве современного промышленного предприятия.

Таблица 5 – Устранение профессиональных рисков

«Наименование негативного фактора»	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками 2) устройства защитного отключения привода станков 3) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений	Специальная одежда, перчатки, защитные очки
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	Индивидуальные средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) контроль изоляции и заземления 2) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 3) защитное заземление, защитное отключение	Специальная одежда, перчатки, резиновые коврики
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности 2) оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	1) ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений 2) защитные экраны	Специальная одежда, перчатки, защитные маски» [5]

Применение предлагаемых в таблице 5 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Построение технологических процессов производства с применением сварочных технологий характеризуется высоким риском возникновения пожара на предприятии, что объясняется свойствами электрической дуги. Сварочная дуга, особенно сжатая сварочная дуга, имеет высокую температуру и является источником интенсивного нагрева и излучения. Кроме того, при сварке выполняется подача электрической энергии высокой мощности, что предусматривает протекание значительного тока, и становится потенциальным источником возникновения пожара. Ещё одним источником пожара могут служить разлетающиеся при сварке и наплавке искры. В таблице 6 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 6 – Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	Участок сварки и восстановительной наплавки
«Наименование оборудования»	Моечная машина, воздушный компрессор, наплавочная установка, дробеструйная камера, электрическая печь
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» [5]	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке

На основании анализа данных в таблице 6 пожар на рассматриваемом производственном участке следует отнести к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ;

разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 8 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 7 – Средства нейтрализации негативных факторов пожара

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
«Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [5]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия. Следует особое внимание уделить инструктажу персонала и обучению его пользованием средствами пожаротушения. Также необходимо поддерживать порядок на рабочем месте и не захламлять его пожароопасным мусором. От правильности действий персонала в начальное время пожара зависит характер пожара, получаемый в его результате ущерб и наличие человеческих жертв. Кроме того, поддержание трудовой дисциплины максимально снижает вероятность возникновения пожара на предприятии. Также запрещается эксплуатировать оборудование с признаками нарушения электрической изоляции.

### 3.5 Экологическая безопасность

При построении технологических процессов на современном промышленном предприятии необходимо руководствоваться не только соображениями безопасности процессов для персонала, но и безопасности процессов для окружающей среды. Поскольку современное общество осознало ответственность человечества за сохранение природных ресурсов, в мировую повестку включены вопросы природосбережения. Разрабатываемые технологические процессы рассматриваются с точки зрения антропогенных факторов, которые нарушают естественное состояние природы и могут стать причиной экологической катастрофы вследствие кумулятивного эффекта. Предлагаемые мероприятия предполагают уменьшение антропогенного действия и защиту основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В настоящем разделе выпускной квалификационной работы затронуты вопросы защиты основных составляющих природной компоненты – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического 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]

Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства. Следует выделить такое эффективное средство обеспечения экологической безопасности, как селективный сбор мусора, не требующий значительных затрат, но позволяющий существенно повысить экономическую эффективность производства за счёт вторичного использования материалов.

#### Выводы по экологическому разделу

При выполнении настоящего раздела выпускной квалификационной работы затронуты вопросы обеспечения безопасности труда на современном сварочном производстве. Выполнена идентификация негативных производственных факторов, действующих на персонал предприятия при реализации проектной технологии, на основании которой выработаны решения по обеспечению защиты работников. Предлагаемые стандартные технические средства и организационные мероприятия позволяют нейтрализовать негативные производственные факторы или снизить их влияние на персонал до приемлемого уровня.

Помимо этого были рассмотрены негативные воздействия производства на окружающую среду и предложены мероприятия по обеспечению экологической ответственности и грамотности. Также была рассмотрена опасность возникновения пожара на предприятии, для устранения которой предусмотрены соответствующие средства.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе методики и средства являются стандартными и имеются в резерве предприятия. Разработки специальных средств и методик для защиты персонала и окружающей среды не требуется.

## **4 Экономическое обоснование проектных решений**

### **4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования**

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности наплавочных работ при ремонте деталей машин типа шкивов. Наплавка штучными электродами, являющаяся одним из самых универсальных способов и успешно применяемая в промышленности в течение длительного времени, характеризуется рядом недостатков, которые становятся критичными в условиях современного производства, что заставляет вести поиск и внедрение новых, более перспективных способов сварки и наплавки, применять механизированные и автоматические способы наплавки. В ходе выполнения второго раздела настоящей выпускной квалификационной работы выполнено обоснование выбора способа восстановительной наплавки. На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов сварки предложено проектную технологию строить на базе плазменной наплавки. На основании изучения источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменной наплавки предложены решения, разработанные отечественными исследователями-сварщиками. Составлена проектная технология ремонтной наплавки.

Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 9.

За счёт повышения производительности труда ожидается уменьшение основных составляющих технологической себестоимости производства и коэффициентов, определяющих цеховые и заводские расходы. Таким образом, ожидается получение положительного экономического эффекта, размер которого будет определен расчётным путем.

Таблица 9 – Исходные данные для экономического обоснования

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$P_p$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	250 тыс.	900 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	40	70
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	400	400
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ $m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [10]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует ценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [10].

## 4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени  $F_H$  и эффективного фонда рабочего времени  $F_3$ , который отличается от фонда рабочего времени  $s$  по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени  $B$ . Для расчётов принимается  $B=7\%$ . Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен  $K_{см}$  и количество рабочих дней в году  $D_p$ , «для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем  $K_{см}=1$  и  $D_p=277$ . С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет  $T_{см}=8$  часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве  $D_{п}=7$  дней, в эти дни на величину  $T_{п}=1$  час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит» [11]

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

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным  $B = 7\%$ , таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

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

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени  $F_3 = 2054$  часов.

### 4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения сварочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при изготовлении (ремонте) одного изделия – штучного времени  $t_{шт}$ . Для расчета величины штучного времени  $t_{шт}$  необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как  $t_{маш}$  – машинное время. Вспомогательное время  $t_{всп}$  является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять  $t_{всп} = 0,1t_{маш}$ . На обслуживание рабочего места расходуется время  $t_{обсл}$ , для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять  $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$ . На личный отдых работника затрачивается время  $t_{отд}$ , для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять  $t_{отд} = 0,05t_{маш}$ » [11]. На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как  $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$ . Таким образом, расчёт штучного времени для базового  $t_{шт.баз}$  и проектного  $t_{шт.проектн.}$  вариантов технологии составит:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . \quad (3)$$
$$t_{шт.баз} = 15 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 18,2 \text{ часов}$$
$$t_{шт.проектн.} = 4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4,9 \text{ часов}$$

Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы  $P_g$ , значение которой зависит от штучного времени  $t_{шт}$  и эффективного фонда времени  $F_э$ , расчёт годовой программы выполняется по формуле

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

«Согласно (4) были получены для базового варианта  $\Pi_{\Gamma} = 2054/18,2 = 112$  деталей за год, для проектного варианта  $\Pi_{\Gamma} = 2054/4,9 = 419$  деталей за год. С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать  $\Pi_{\Gamma} = 100$  наплавленных деталей в год. С учётом годового эффективного фонда времени  $F_{\text{э}} = 2054$  часов, годовой программы  $\Pi_{\Gamma} = 100$ , коэффициента выполнения нормы  $K_{\text{вн}} = 1,03$ , штучного времени  $t_{\text{шт}}$  количество оборудования рассчитывается как

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

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 18,2$  часов,  $n_{\text{расч.}} = 18,2 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,81$ , при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для  $t_{\text{шт}} = 4,9$  часов,  $n_{\text{расч.}} = 4,9 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,22$ . При построении технологического процесса» [11] принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте  $n=1$ . Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки  $K_{\text{з}}$  следующим образом

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

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен  $K_{\text{з}} = 0,81/1 = 0,81$ , для проектного варианта коэффициент загрузки равен  $K_{\text{з}} = 0,22/1 = 0,22$ . Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.

#### 4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают сварочные и наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_{ТЗ} = 1,05$ , нормы расхода  $H_p$  и цены  $C_M$  материалов:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем  $M_{баз.} = 300 \cdot 8 \cdot 1,05 = 2520$  руб. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет  $M_{баз.} = 90 \cdot 60 \cdot 1,05 + 50 \cdot 30 \cdot 9 \cdot 1,05 = 5670 + 4175 = 9845$  руб.

Основная заработная плата  $Z_{осн}$  является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени  $t_{шт}$ , и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет  $C_ч = 200$  рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным  $K_d = 1,88$ . Таким образом, для проектной и базовой технологии:

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

Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{шт} = 18,2$  часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы  $Z_{осн} = 18,2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 6843,2$  рублей; для проектного

варианта построения технологии значение штучного времени составляет  $t_{шт} = 4,9$  часов, согласно (8) основная заработная плата  $Z_{осн.} = 4,9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1842,4$  рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата  $Z_{доп}$ , для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит  $K_{доп} = 0,12$ . Величина  $Z_{доп}$  пропорциональная основной заработной плате  $Z_{осн.}$ :

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{осн.} = 6843,2$  рублей, поэтому согласно (9)  $Z_{доп} = 6843,2 \cdot 12/100 = 821,2$  рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет  $Z_{осн.} = 1842,4$  рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата  $Z_{доп} = 1842,4 \cdot 12/100 = 221,1$  рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной  $Z_{осн.}$  и дополнительной  $Z_{доп}$  заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП  $= 6843,2 + 821,2 = 7664,4$  рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП  $= 1842,4 + 221,1 = 2063,5$  рублей.

Размер отчислений на социальные нужды  $O_{сн}$  пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды  $K_{сн} = 0,34$ , с учётом которого:

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

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП  $= 7664,4$  рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные

нужды  $O_{\text{сн.}} = 7664,4 \cdot 34 / 100 = 2605,9$  рублей. Для проектного варианта технологии ранее получено  $\PhiЗП = 2063,5$  рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн.}} = 2063,5 \cdot 34 / 100 = 701,6$  рублей.

Амортизационные отчисления  $A_{\text{об}}$  являются составляющими затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается  $N_a = 21,5\%$ : эффективного фонда времени  $F_3$ , стоимости оборудования  $\Pi_{\text{об}}$ , которое для базового варианта составляет  $\Pi_{\text{об}} = 100000$  рублей, для проектного варианта  $\Pi_{\text{об}} = 400000$  рублей; машинного времени  $t_{\text{маш}}$ , которое для базового варианта составляет  $t_{\text{маш}} = 5$  часов, для проектного варианта  $t_{\text{маш}} = 3$  часов.

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

«Для базового варианта технологии согласно (10)  $A_{\text{об}} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 18,2 / 2054 / 100 = 143,7$  рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10)  $A_{\text{об}} = 900000 \cdot 21,5 \cdot 4,9 / 2054 / 100 = 461,6$  рублей.

Ещё одной составляющей затрат на оборудование  $Z_{\text{об}}$  являются затраты на электрическую энергию  $P_{\text{э}}$ . Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии  $\Pi_{\text{э}}$ , которая для рассматриваемого варианта принимается  $\Pi_{\text{э}} = 3,2$  руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени  $t_{\text{маш}}$  и установленной мощности оборудования  $M_{\text{уст}}$ .

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

Согласно (12) для базового варианта  $P_{\text{э}} = 40 \cdot 18,2 \cdot 3,2 / 0,7 = 3328,0$  рублей. Согласно (12) для проектного варианта  $P_{\text{э}} = 70 \cdot 4,9 \cdot 3,2 / 0,85 = 1291,2$  рублей» [10].

Затраты на оборудование  $Z_{\text{об}}$  являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных  $A_{\text{об}}$  и  $P_{\text{э}}$ :

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

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии  $Z_{об.} = 143,7 + 3328,0 = 3471,7$  рублей, для проектного варианта технологии  $Z_{об} = 461,6 + 1291,2 = 1752,8$  рублей.

Технологическая себестоимость  $C_{тех}$  является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте ФЗП = 7660 рублей, в проектном варианте ФЗП = 2060 рублей), затрат на материалы (в базовом варианте  $M = 2520$  рублей, в проектном варианте  $M = 1980$  рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте  $O_{сс} = 2610$  рублей, в проектном варианте  $O_{сс} = 700$  рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте  $Z_{об} = 3470$  рублей, в проектном варианте  $Z_{об} = 1750$  рублей), затрат на площади (в базовом варианте  $Z_{пл} = 1640$  рублей, в проектном варианте  $Z_{пл} = 760$  рублей). Таким образом:

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

«По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта  $C_{тех} = 2520 + 7660 + 2610 + 3470 + 1640 = 17900$  рублей, для проектного варианта расчётная величина себестоимости операций составляет  $C_{тех} = 1980 + 2060 + 700 + 1750 + 760 = 7250$  рублей.

Расчёт цеховой себестоимости  $C_{цех}$  ведется с учётом основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента цеховых расходов  $K_{цех} = 1,5$ :

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии  $C_{цех} = 17900 + 1,5 \cdot 6843,2 = 17900 + 10260 = 28160$  рублей, для проектного варианта  $C_{цех} = 7250 + 1,5 \cdot 1842,4 = 7250 + 2760 = 10010$  рублей.

Расчёт заводской себестоимости  $C_{зав}$  ведется с учётом основной заработной платы  $Z_{осн}$  и коэффициента заводских расходов  $K_{зав} = 1,15$ :

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

Согласно (16)  $C_{зав} = 28160 + 1,15 \cdot 6843,2 = 28160 + 7870 = 36030$  рублей для базовой технологии и  $C_{зав} = 10010 + 1,15 \cdot 1842,4 = 10010 + 2120 = 12130$ » [11] рублей для проектной технологии. Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 10, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 20.

Таблица 10 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы»	М	2520	1980
2. Фонд заработной платы	ФЗП	7660	2060
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	2610	700
4. Затраты на оборудование	Зоб	3470	1750
5. Затраты на площади	Зпл	1640	760
6. Технологическая себестоимость	$C_{тех}$	17900	7250
7. Цеховые расходы	$P_{цех}$	10260	2760
8. Цеховая себестоимость	$C_{цех}$	28160	10010
9. Заводские расходы	$P_{зав}$	7870	2120
10. Заводская себестоимость» [10]	$C_{зав}$	36030	12130

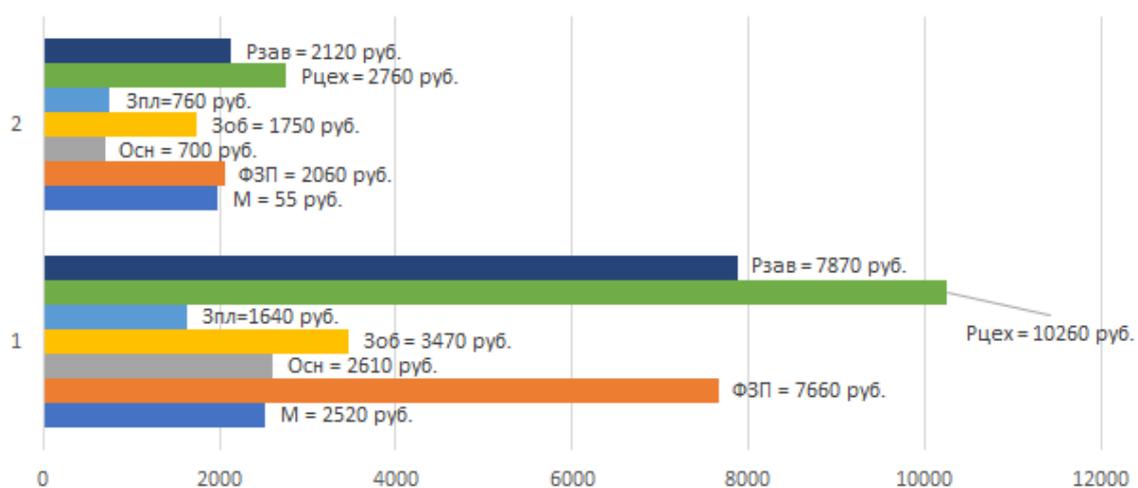


Рисунок 20 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений. При этом в проектном варианте по сравнению с базовым отмечается существенное снижение затрат на материалы, фонд заработной платы и отчисления на социальные нужды.

#### 4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования  $\Pi_{об.б.}$  определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается  $T_c = 3$  года, и цены нового оборудования на рынке  $\Pi_{перв.}$ , которая принимается  $\Pi_{перв.} = 250000$  рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений  $H_a = 21,5 \%$ . Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

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

Согласно (17)  $\Pi_{об.б.} = 250000 - (250000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 88750$  рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,81$ , с учётом которого для остаточной стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.} = 88750$  рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z,б} = 88750 \cdot 0,81 = 71888 \text{ рублей}. \quad (18)$$

Для расчета размеров «капитальных затрат  $K_{общ.пр.}$  по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади  $K_{пл.пр.}$ , капитальных затрат на оборудование  $K_{об.пр.}$  и сопутствующих затрат  $K_{соп.}$ :

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

Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования  $\Pi_{об. пр.} = 900000$  рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз} = 1,05$  и коэффициент загрузки оборудования  $K_z = 0,22$ . Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование  $K_{об. пр.}$ :

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

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет  $K_{об.пр} = 900000 \cdot 1,05 \cdot 0,22 = 207900$  рублей.

Сопутствующие капитальные затраты  $K_{соп}$  рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования  $P_{мон}$  и расходов на демонтаж оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии  $P_{дем}$ . Расчёты ведутся по формуле

$$K_{соп} = P_{дем} + P_{монт}. \quad (21)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования  $K_{дем} = 0,05$ . С учётом ранее заданной цены оборудования  $Ц_{об.б} = 250000$  рублей расходы на демонтаж  $P_{дем}$  составят:

$$P_{дем} = Ц_{об.б} \cdot K_{д} = 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования  $Ц_{об.пр}$ , с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается  $K_{мон} = 0,05$  [11]:

$$P_{монт} = Ц_{об.пр} \cdot K_{м} = 900000 \cdot 0,05 = 45000 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов  $K_{соп}$  согласно (21) составляет  $K_{соп} = 12500 + 45000 = 57500$  рублей.

Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ.пр}$  согласно (19) составляет  $K_{общ.пр} = 207900 + 57500 = 265400$  рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии  $K_{общ.пр} = 265400$  рублей и капитальных затрат по базовой технологии  $K_{общ.б} = 71888$  рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты  $K_{доп}$ :

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб} = 265400 - 71888 = 311888 \text{ рублей}. \quad (24)$$

Удельные капитальные вложения  $K_{уд}$  рассчитываются как отношение величины капитальных вложений  $K_{общ}$  к годовой программе  $\Pi_{Г}$  согласно формулы

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

Согласно (25) «базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 71888/100 = 718$  руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения  $K_{уд} = 265400/100 = 2654$  руб./ед.

#### 4.6 Расчёт экономических показателей

Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений.

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости  $\Delta t_{шт}$ , которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта  $t_{шт пр} = 4,9$  часов и штучного времени для базового варианта  $t_{шт б} = 18,2$  часов:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (18,2 - 4,9) \cdot 100 \% / 18,2 = 73 \% . \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда  $\Pi_{Г}$ , рассчитываемая как

$$\Pi_{Г} = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 73 / (100 - 73) = 270 \% . \quad (27)$$

Следующим объективным показателем является снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех}$ , которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии  $C_{тех.б} = 17900$  рублей и себестоимости по проектной технологии» [11]  $C_{тех.пр.} = 7250$  рублей:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} = (17900 - 7250) \cdot 100\% / 17900 = 59\% \quad (28)$$

Для расчёта условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}}$  применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам  $C_{\text{зав.б}} = 36030$  рублей и  $C_{\text{тех.пр.}} = 12130$  рублей. Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б}} - C_{\text{зав.пр}}) \cdot \Pi_{\Gamma} = (36030 - 12130) \cdot 100 = 2390000 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$  рассчитывается для  $K_{\text{доп}} = 311888$  рублей и  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 2390000$  рублей по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 311888 / 239000 = 0,3 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат  $E_{\text{н}} = 0,33$ . С учётом дополнительных капитальных вложений  $K_{\text{доп}} = 311888$  рублей и условно-годовой экономии  $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 2390000$  рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 2390000 - 0,33 \cdot 311888 = 2287077 \text{ рублей.} \quad (31)$$

На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 2,39 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 73 %, производительности труда повышается на 270 %. Технологическая себестоимость снижается на 59 %. Годовой экономический эффект оценивается в 2,29 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений.

## Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности наплавочных работ при ремонте деталей машин типа шкивов. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы.

Наплавка штучными электродами, являющаяся одним из самых универсальных способов и успешно применяемая в промышленности в течение длительного времени, характеризуется рядом недостатков, которые становятся критичными в условиях современного производства, что заставляет вести поиск и внедрение новых, более перспективных способов сварки и наплавки, применять механизированные и автоматические способы наплавки.

В ходе выполнения второго раздела настоящей выпускной квалификационной работы выполнено обоснование выбора способа восстановительной наплавки. На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов сварки предложено проектную технологию строить на базе плазменной наплавки. На основании изучения источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности плазменной наплавки предложены решения, разработанные отечественными исследователями-сварщиками. Составлена проектная технология ремонтной наплавки.

Проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Годовой экономический эффект составляет два миллиона рублей. На основании вышеизложенного следует признать высокую эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технических и организационных решений. Поставленная цель может считаться достигнутой.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Батищев А. Н. Методика обоснования рационального способа восстановления изношенных деталей // Современное оборудование и технологические процессы для восстановления и упрочнения деталей машин: тез. докл. науч.-техн. конф. стран – членов СЭВ «Ремдеталь-88», 17–21 октября 1988 г., г. Пятигорск. М., 1988. Ч. 1. С. 23–24.
2. Васильев Н. Г., Галиев И. И., Васильева Т. Н. Выбор способа восстановления изношенных деталей // Сварочное производство. 1996. № 7. С. 13–15.
3. Вертакова Ю. В., Плотников В. А.. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности. // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
4. Власов А. Ф., Макаренко Н. А., Куций А. М. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии // Автоматическая сварка. 2014. № 6. С. 151–154.
5. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
6. Горшкова О.О. Новые технологии в сварочном производстве // Современные наукоёмкие технологии. 2021. № 2. С. 14–18.
7. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 9–17.
8. Иоффе И. С. Влияние титанотермитной смеси, входящей в электродное покрытие, на повышение производительности сварки // Сварочное производство. 1980. № 3. С. 26–28.
9. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы: технический научно-производственный журнал. 2016. № 6. С. 18–23.

10. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
11. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
12. Лебедев В. А. Определение параметров импульсной подачи электродной проволоки при механизированной дуговой сварке и наплавке // Сварочное производство. 2008. № 8. С. 11-14.
13. Лебедев В. А., Лендел И. В., Яровицын А. В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 25–30.
14. Лендел И. В., Максимов С. Ю., Лебедев В. А. Влияние импульсной подачи электродной проволоки на формирование и износостойкость наплавленного валика, а также потери электродного металла при дуговой наплавке в углекислом газе // Автоматическая сварка. 2015. № 5–6. С. 46–48.
15. Лукин М.А. Научно-технический уровень сварочного производства в современной России // Вестник ПсковГУ, 2014. № 4. С. 134–142.
16. 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.
17. Маковецкая О.К. Современный рынок сварочной техники и материалов // Автоматическая сварка. 2011. № 6. С. 23–38.
18. Маковецкая О. К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных сварочных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54-61.
19. Мау В. А., Улюкаев А. В. Глобальный кризис и тенденции экономического развития // Вопросы экономики. № 11. 2014. С. 16-23.
20. Неверов В.В. Разработка технологии наплавки износостойких сплавов при изготовлении биметаллических изделий. Диссертация на

соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва: МАТИ. 2012.

21. Нестеров П. России необходимо возродить дело Патонов // Русский инженер. 2015. № 2. С. 26–29.

22. Павлова И. А., Павлов А. С. Техничко-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14-21.

23. Патент № 190126 РФ, МПК H05H 1/42. Плазматрон для напыления / Павлов А. А. Заявл. 08.04.2019. Оpubл. 20.06.2019, Бюл. № 17. 9 с.

24. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего : монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

25. Потальевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : ЭкоТехнолопя, 2007. 192 с.

26. 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.

27. Рухлин Г.В. Анализ конкурентной ситуации на рынке сварочного оборудования и материалов стран Азиатско-Тихоокеанского региона // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2010. № 6. С. 120–127.

27. Рябцев И. А., Переплетчиков Е. Ф., Миц И. В. Влияние исходной структуры и гранулометрического состава порошка на структуру металла 10P6M5, наплавленного плазменно-порошковым способом // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 23–27.